

Variáveis de processo: a filosofia *Best Day*

Nuno Godinho Lopes

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Bernardo Almada-Lobo



Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

2018-07-02

“He who would learn to fly one day must first learn to stand and walk and run and climb and dance; one cannot fly into flying.”

Friedrich Nietzsche

Resumo

Num mercado global e cada vez mais competitivo, as empresas industriais estão debaixo de uma grande pressão para melhorar a sua operação, mantendo ou reduzindo custos, ou correm o risco de serem deixadas para trás e se tornarem insustentáveis. Esta pressão tem-se traduzido num grande foco em políticas de melhoria contínua e na procura constante de formas de aumentar a eficiência do processo produtivo.

O objetivo principal deste projeto é contribuir para o aumento da eficiência do processo produtivo numa fábrica de vidro de embalagem, através da aplicação de técnicas analíticas às variáveis do processo e da implementação da filosofia *Best Day*, que consiste fundamentalmente na recolha e posterior replicação do maior número de variáveis do processo produtivo possível, aquando da ocorrência de dias excecionalmente bons de produção.

Neste documento apresentam-se fundamentações teóricas de metodologias de melhoria contínua intrinsecamente ligadas ao *Best Day* e de técnicas de análise de dados. É descrito o processo produtivo, variáveis relevantes e as várias etapas, passadas, presentes e futuras para a implementação da filosofia *Best Day* e os seus potenciais benefícios.

Tendo sido concluída a fase inicial da implementação para um dos fornos e definido o rumo para as fases seguintes, foram registados no total 6 *Best Days* e respetivas variáveis no sistema, estando os seus dados disponíveis para consulta e servir de referência. O benefício gerado é ainda difícil de quantificar uma vez que o projeto geral ainda se encontra numa fase intermédia.

São também analisadas relações de causa-efeito entre variáveis do processo e os resultados finais, através do processamento de dados de duas linhas de teste. Neste âmbito, foi identificada uma relação significativa entre a cor do vidro e os resultados da produção, que pode vir a resultar num aumento da eficiência.

Process variables: the *Best Day* philosophy

Abstract

In an increasingly competitive global market, industrial companies are under immense pressure to improve their operations, while maintaining or reducing, or risk being left behind and becoming unprofitable. This pressure has translated into considerable focus in continuous improvement politics and a constant search for ways to improve the efficiency of the productive process.

The main goal of this project is to contribute to an increase in production efficiency in a glass packaging factory, by use of analytical techniques on process variables and the implementation of the *Best Day* philosophy, which consists fundamentally of the registering and posterior replication of the highest possible number of process variables, when an exceptionally good productive day occurs.

Present in this document are theoretical considerations about continuous improvement methodologies connected to the *Best Day* and data analysis techniques. The productive process is described, along with relevant variables and various stages, past, present and future of the implementation of the *Best Day* philosophy and their main benefits.

Having the initial stage of the implementation concluded in one furnace, a total of 6 *Best Days* and their respective process variables were registered into the system, with their data available to serve as a reference. The generated benefit is hard to quantify since the *Best Day* project as a whole is still on an intermediate stage.

Cause-effect relations are also analysed between process variables and final results, via processing of the data of two test production lines. Thanks to this, a significant relation between glass color and production results was found, which can lead to an efficiency increase.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero agradecer a todas as pessoas da BA Glass com quem tive a oportunidade de trabalhar e aprender nos últimos meses.

Ao Professor Bernardo Almada-Lobo pela exigência, sugestões e orientação ao longo do projeto.

Ao Engenheiro Rui Matos, meu orientador na empresa, por me ter garantido sempre todas as condições necessárias para o desenvolvimento do projeto e pela motivação.

Ao Engenheiro Hélder Sanches, por todo o contributo pessoal e profissional ao longo de toda a duração do projeto.

Ao Miguel Couto e ao João Perre, pelas muitas discussões e sugestões.

A todas as pessoas com quem me cruzei na minha passagem pela Tuna de Engenharia da Universidade do Porto, que contribuíram de forma incalculável para o meu desenvolvimento pessoal ao longo dos últimos anos.

A todos os meus amigos, pelos inúmeros momentos, a amizade e o apoio incondicional.

Finalmente e acima de tudo, à minha família, principalmente aos meus pais, a quem devo tudo. Não há sequer palavras que façam jus ao contributo prestado.

A todos, muito obrigado.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	A indústria das embalagens de vidro	1
1.2	Apresentação da BA Glass, SA	2
1.3	Contexto e objetivo do projeto.....	3
1.4	Metodologia.....	4
1.5	Estrutura da dissertação	4
2	Enquadramento teórico	5
2.1	Melhoria contínua.....	5
2.1.1	SMED	5
2.1.2	CEP	6
2.1.3	Normalização de processos.....	7
2.2	Técnicas de análise de dados.....	8
2.2.1	Comparação de localização.....	8
2.2.2	Correlação	9
2.2.3	<i>Machine Learning</i>	10
3	Descrição do processo produtivo	12
3.1	Processo produtivo do vidro de embalagem	12
3.2	Moldação de embalagens de vidro	14
3.2.1	Condicionamento	14
3.2.2	<i>Feeder</i>	15
3.2.3	Máquinas IS.....	16
3.3	Produção na fábrica de Avintes	19
3.4	Defeitos	20
4	Situação e contexto inicial.....	22
4.1	O projeto <i>Best Day History</i>	22
4.1.1	Etapas para a implementação do projeto	22
4.1.2	Situação inicial do projeto	24
4.2	A fabricação	24
4.3	Objetivos iniciais	25
5	Desenvolvimento do projeto.....	26
5.1	Implementação do processo de registo de variáveis	26
5.1.1	Fase inicial – preparação.....	27
5.1.2	Recolha e otimização.....	28
5.1.3	Situação final e ações futuras.....	29
5.2	Compilação de ficheiros de controlo	29
5.2.1	Variáveis da fusão	29
5.2.2	Variáveis da fabricação.....	31
5.2.3	Variáveis de práticas de manutenção	32
5.2.4	Variáveis de resposta	32
5.3	Análise geral de fabricos	34
5.3.1	Definição de objetivo e objeto de análise.....	34
5.3.2	Considerações iniciais	37
5.3.3	Primeira análise comparativa – lançamento de hipóteses.....	38
5.3.4	Segunda análise comparativa – validação de hipóteses	42
5.3.5	Modelo preditivo	43
5.4	Influência da cor na rejeição	44
5.4.1	Variável representativa da cor	45
5.4.2	Considerações e pressupostos.....	45
5.4.3	Procedimentos e resultados:	46

5.5	Apresentação de resultados.....	47
6	Conclusões e perspectivas de trabalhos futuros	48
	Referências	49
ANEXO A	Ficheiros de auxílio a recolha das variáveis do Best Day	51
ANEXO B	Ficheiro de controlo	53
ANEXO C	Ficheiro Análise de Rejeições	54
ANEXO D	Gráficos de Rejeições.....	55
ANEXO E	Testes Estatísticos utilizados	58
ANEXO F	<i>Outputs</i> Análise Geral 4088C002	60
ANEXO G	<i>Outputs</i> Análise 4088C002, fabricos 2/3/4	64
ANEXO H	<i>Outputs</i> Análise 4088C002, fabricos 5/6/7	67
ANEXO I	Modelo MLP para Produção Líquida Teórica	69
ANEXO J	MLP - Influência das variáveis de entrada no <i>output</i>	70
ANEXO K	Análise Cor vs. Rejeição.....	72

Siglas

BB – *Blow-and-Blow*

CEP – Controlo Estatístico do Processo

DFA – Divisão da Fabricação

IS – *Individual Section*

MF – Molde Final

MIL – Máquinas de Inspeção em Linha

MLP – *Multilayer Perceptron*

MP – Molde de Principiar

NNPB – *Narrow-Neck-Press-and-Blow*

PB – *Press-and-blow*

SI – *SuperInspector*

SMED – *Single Minute Exchange of Die*

SS – *SuperScan*

TI – Tecnologias de Informação

TSF – Tratamento de Superfície a Frio

TSQ – Tratamento de Superfície a Quente

ZF – Zona Fria

ZQ – Zona Quente

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Localização das unidades fabris e armazéns da BA Glass (BA Glass 2018b)	3
Figura 2.1 - Esquema representativo das fases do SMED (Sanches 2015).....	6
Figura 2.2 - <i>Perceptron</i> simples (Alpaydin 2010).....	10
Figura 3.1 - Processo produtivo das embalagens de vidro (Alves 2012)	12
Figura 3.2 - Esquema de um <i>forehearth</i> da produção de vidro de embalagem (Hubert 2015) ..	15
Figura 3.3 - Processo de corte de gota (Bourhis 2008)	16
Figura 3.4 - Máquina IS de 8 secções e cavidade dupla (Almada-Lobo 2007).....	16
Figura 3.5 - Equipamento de Entrega (Martins 2017).....	17
Figura 3.6 - Processo BB: (1) a gota entra no molde; (2) a boquilha é enchida (3) formação do <i>parison</i> por sopro (4) abertura de molde de principiar, inversão e fecho do MF; (5) abertura da boquilha e reaquecimento de <i>parison</i> ; (6) sopro final; (7) pinças removem a garrafa (Cable 1999).....	18
Figura 3.7 - Formação de <i>parison</i> no processo PB: (1) gota entra no molde; (2) movimento de prensagem (Bourhis 2008).....	18
Figura 3.8 - Esquema das linhas produtivas na fábrica de Avintes	20
Figura 3.9 - Nomenclaturas das zonas de uma garrafa de vidro (Sanches 2015).....	20
Figura 4.1 - Exemplo de definição variáveis do <i>Best Day</i> a registar	23
Figura 4.2 – Plataforma <i>Best Day</i>	24
Figura 5.1 - Processo de recolha das variáveis <i>Best Day</i> (*CSP: Chefe de Serviço de Produção).....	26
Figura 5.2 - Ficheiro de listagem de variáveis.....	27
Figura 5.3 - Ficheiro de <i>feedback</i> das recolhas do <i>Best Day</i>	27
Figura 5.4 - Diagrama de Ishikawa para rejeição por SS Fundo	35
Figura 5.5 - Diagrama de Ishikawa para rejeição por SI Visual.....	36
Figura 5.6 - Diagrama de Ishikawa para a eficiência a quente.....	36
Figura 5.7 - Diagrama de Ishikawa para rejeição por M1 Marisa	36
Figura 5.8 - <i>Boxplot</i> da Produção Líquida Teórica da referência 4088C002	38
Figura 5.9 - Resultados teste de Kruskal-Wallis para a comparação de fabricos 2/3/4 da referência 4088C002.....	38
Figura 5.10 - Diferenças significativas nas variáveis para os fabricos 2/3/4 da referência 4088C002	39
Figura 5.11 - Correlação de Spearman <i>Ring</i> vs % SS - Fundo e % SI Visual (ref. 4088C002 fabricos 2/3/4).....	41
Figura 5.12 - Correlações de Spearman significativas com a variável % SI Vis (ref. 4088C002 fab. 2/3/4)	41
Figura 5.13 - Gráfico de dispersão Vida Ring vs. SS Fundo e SI Visual (da esquerda para a direita, fab. 5, 6 e 7).....	42
Figura 5.14 - Correlações de Spearman significativas com a variável % SI Visual (ref. 4088C002 fab. 5/6/7).....	43

Figura 5.15 - Gráfico de avaliação de performance de modelo preditivo	44
Figura 5.16 - Correlações de Spearman cor vs. rejeição	46
Figura 5.17 - Gráfico de dispersão cor vs rejeição (L21 em cima, L22 em baixo)	46
Figura A.1 - Ficheiro de recolha automática - mudança programada.	51
Figura A.2 - Exemplo de recolha automática de refratários.	51
Figura A.3 - Pág. 1 do template de recolha manual	52
Figura D.1 - % de Motivos de rejeição das M1 na linha 21	55
Figura D.2 - L21: Rejeição por SS fundo por dia (linhas pretas correspondem a mudanças de fabrico).....	55
Figura D.3 - L21: Rejeição por SI Visual por dia.	56
Figura D.4 - L21: Rejeição por M1 Marisa	56
Figura D.5 - L21: Eficiência a quente	56
Figura D.6 - L22: Rejeição por SS Fundo	57
Figura D.7 - L22: Rejeição por SI Visual.....	57
Figura D.8 - L22: Rejeição por M1 Marisa	57
Figura F.1 – Prod Líq Teo - Teste de normalidade	60
Figura F.2 – Prod Líq Teo - Teste de homogeneidade de variâncias	60
Figura F.3 - Variáveis de resposta - Teste de normalidade	60
Figura F.4 - Variáveis de resposta - Teste de homogeneidade de variâncias.....	61
Figura F.5 - Teste de Kruskal-Wallis pt.1: valor médio de números de ordem	61
Figura F.6 - Teste de Kruskal-Wallis pt.2: Estatística de teste e significância	62
Figura F.7 - <i>Boxplot</i> cadência por fabrico	62
Figura F.8 - <i>Boxplot</i> Ef. Quente por fabrico.....	62
Figura F.9 - <i>Boxplot</i> M1 Marisa por fabrico	63
Figura F.10 - <i>Boxplot</i> SI Visual por fabrico	63
Figura F.11 - <i>Boxplot</i> SS Fundo por fabrico	63
Figura G.1 - Utilização refratários vs. Rejeição (da esquerda para a direita: fabrico 2, 3 e 4).....	64
Figura G.2 - Utilização partes máq. IS vs Rejeição (da esquerda para a direita: fabrico 2, 3 e 4).....	65
Figura G.3 - Utilização de moldes vs. Rejeição (da esquerda para a direita fabricos 3 e 4) ...	66
Figura H.1 - Resultados do teste de Mann Whitney para diferenças nas variáveis de resposta (fabrico 5-6 e 5-7).....	67
Figura H.2 - Resultados do teste de Mann Whitney para diferenças nas variáveis de resposta (fabricos 6-7)	68
Figura J.1 - Modelo MLP para previsão da Produção líquida teórica.....	69
Figura J.1 - Importância de variáveis na Produção Líquida Teórica.....	70
Figura J.2 - Importância de variáveis na rejeição por SS Fundo	70
Figura J.3 - Importância de variáveis na rejeição por SI Visual.....	70

Figura J.4 - Importância das Variáveis na rejeição por M1 Marisa	71
Figura J.5 - Importância de variáveis na Eficiência a Quente	71
Figura K.1 - Estatísticas descritivas gerais L21 (Análise cor vs. rejeição)	72
Figura K.2 - Estatísticas descritivas L22 (Análise cor vs. rejeição).....	72
Figura K.3 - Gráfico de dispersão cor vs rejeição com dados diários (L21 em cima, L22 em baixo).....	73

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Proporção dos consituientes da matéria prima (BA Glass 2018a).....	13
Tabela 5.1 - Resumo do tempo de recolha do <i>Best Day</i>	28
Tabela 5.2 - Variáveis da fusão	30
Tabela 5.3 - Temperatura do vidro na garganta e no fundo – registos vs. <i>software</i> (MCS).....	30
Tabela 5.4 - Variáveis da fabricação	31
Tabela 5.5 - Variáveis de práticas de manutenção	32
Tabela 5.6 - Variáveis de resposta e objetivo	33
Tabela 5.7 - Estatísticas resumo das razões de rejeição	35
Tabela 5.8 - Dias em fabrico de cada referência	37
Tabela 5.9 - Fabricos da referência 4088C002.....	37
Tabela 5.10 - Diferenças significativas repetidas entre variáveis entrada e resposta.....	42

1 Introdução

As primeiras evidências da presença de vidro manufaturado na vida humana datam de há mais de 5000 anos, tendo sido encontradas nos túmulos egípcios. Devido à sua conjugação de boas propriedades mecânicas com as suas propriedades óticas, a sua utilização tem crescido constantemente ao longo dos tempos, para os mais diversos fins, não existindo outro material de produção em massa com uma existência tão longa.

A crescente globalização tem dado azo a um mercado global, mais competitivo, que, com todas as suas oportunidades, exige também maior flexibilidade e padrões de qualidade, colocando uma pressão enorme nas indústrias para melhorarem a sua operação, mantendo ou reduzindo custos, sob o risco de se tornarem insustentáveis. A indústria de embalagens de vidro não é exceção, e embora muitas vezes o foco da melhoria e redução de desperdício recaia sobre a gestão da cadeia de abastecimento, a verdade é que, possivelmente, a componente mais importante continue a ser a produção propriamente dita. Qualquer aumento na sua eficiência, por mais pequeno que seja, traduz-se imediatamente nos resultados operacionais.

Com um processo produtivo extremamente complexo que envolve uma grande quantidade de parâmetros e variáveis, a identificação das melhores combinações de variáveis de *setup* e de processo e consequente sistematização e replicação das mesmas de forma consistente tem o potencial de eliminar ineficiências durante as mudanças de fabrico e permitir um controlo mais estreito do processo. É precisamente esta oportunidade de melhoria que se procura aproveitar com a aplicação da filosofia *Best Day*, uma filosofia que consiste fundamentalmente na recolha e registo do maior número de variáveis do processo produtivo possível, aquando da ocorrência de um dia excecionalmente bom de produção.

Esta dissertação foi desenvolvida na unidade fabril de Avintes do grupo BA Glass, pretendendo, através da implementação da filosofia *Best Day* na fábrica, aumentar o controlo sobre o processo produtivo, explorar a utilização de técnicas de análise de dados no apoio à tomada de decisão e avaliar o possível impacto da aplicação dessa filosofia a todas as fábricas do grupo.

1.1 A indústria das embalagens de vidro

A indústria do vidro encontra-se dividida em cinco sectores: embalagem, vidro plano, doméstico, fibra de vidro, e outros, cada um com produtos e desafios completamente diferentes, podendo cada setor ser considerado uma indústria independente. Anualmente, na União Europeia, produzem-se cerca de 35 milhões de toneladas de vidro, cerca de um terço da produção mundial, sendo o setor mais relevante em volume o de embalagem, responsável por mais de 60% (21 milhões de toneladas) da produção total, compreendendo 162 unidades fabris e cerca de 50,000 empregos (GAE 2018).

As embalagens de vidro são usadas principalmente na indústria alimentar e de bebidas, com alguma produção direcionada para perfumaria, cosmética e produtos farmacêuticos.

Ultimamente, a procura de embalagens de vidro tem sido caracterizada por um crescimento constante, que se prevê que continue no futuro, devido à preferência dos consumidores finais pelo vidro em relação aos concorrentes diretos, plástico e metais, é visto como um material seguro, amigo do ambiente e com maior capacidade para manter o produto original intacto (FEVE 2017).

As embalagens de vidro enquanto produto são normalmente caracterizadas por um baixo preço de venda e custo de transporte elevado, o que, juntamente com a complexidade do seu processo produtivo, faz com que esta seja uma indústria de capital intensivo, dominada por grandes empresas capazes de produção em massa contínua, aproveitar economias de escala e redes de distribuição altamente desenvolvidas, proximidade geográfica com clientes e relações com os mesmos bem consolidadas. Estas barreiras fazem com que seja praticamente impossível para novos concorrentes entrarem no mercado e que a construção de novas unidades fabris seja um processo bastante demorado e arriscado, sendo que, para aproveitar o crescimento da procura, as empresas se viram cada vez mais para a expansão através da aquisição e para formas de maximizar a sua produção com os meios já existentes atualmente.

1.2 Apresentação da BA Glass, SA

A BA Glass é a maior de 4 empresas portuguesas que produzem embalagens de vidro em Portugal, operando há mais de 100 anos.

Começou em 1912 sob a designação “Barbosa & Almeida, Lda”, com apenas a distribuição de garrafas de vidro comercial como atividade, tendo iniciado a sua atividade industrial em 1930 em Campanhã, no Porto, alterando o nome para “Fábrica de Vidros Barbosa e Almeida, Lda”. Seguem-se alguns marcos importantes da história da BA:

- **1947:** Introdução da tecnologia automática na fabricação de garrafas.
- **1969:** Início da laboração na nova unidade fabril de Avintes com dois fornos regenerativos e desativação da unidade fabril de Campanhã.
- **1993:** Aquisição da “CIVE – Companhia Industrial Vidreira, SA”, sediada na Marinha Grande.
- **1998:** Início de operações em nova unidade fabril em Villafranca de los Barros (Estremadura Espanhola).
- **1999:** Aquisição da “Vilesa – Vidriera Leonesa”, com unidade fabril em León.
- **2008:** Aquisição do Grupo Sotancro, alargando o portefólio de produtos a segmentos de farmácia e cosmética.
- **2012:** Aquisição do grupo Polaco Warta Glass, expandindo o mercado para a Europa de Leste.
- **2016:** Aquisição da HNG Global, empresa alemã de embalagens de vidro. Aquisição de uma participação de 25% na empresa americana Anchor Glass.
- **2017:** Aquisição do grupo Yioula, com 4 fábricas do Sudeste Europeu, acrescentando mais uma região à área de ação da empresa.

Atualmente a BA está sediada em Avintes e produz anualmente mais de 8 mil milhões de embalagens, em 11 cores diferentes, operando 12 unidades fabris divididas em 3 regiões (ver Figura 1.1): Ibéria (3 fábricas em Portugal e 2 em Espanha), Europa Central (2 na Polónia e 1 na Alemanha) e Sudeste Europeu (2 na Bulgária, 1 na Grécia e 1 na Roménia), possuindo um total de cerca de 3800 colaboradores e distribuindo embalagens de vidro para mais de 80 países, fazendo da empresa um dos maiores *players* a nível europeu.

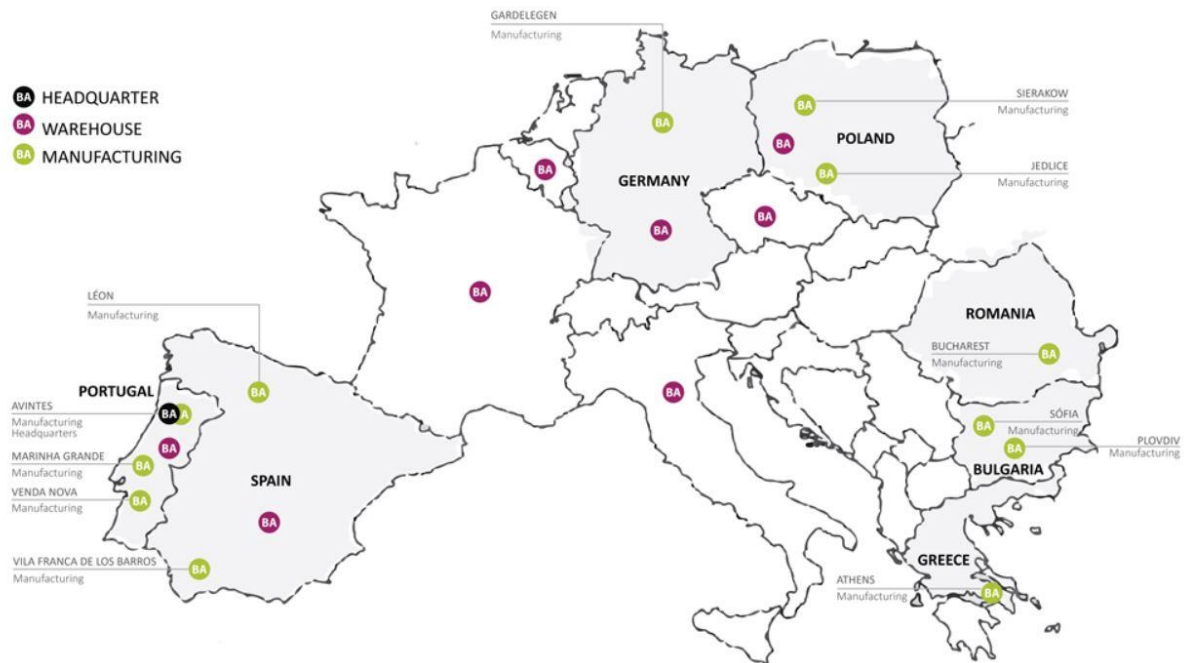


Figura 1.1 - Localização das unidades fabris e armazéns da BA Glass (BA Glass 2018b)

Todas as fábricas operam em contínuo, estruturando-se por tecnologia, número e capacidade de fornos e respetivas linhas de produção, que se encontram especializados para satisfazer as necessidades de diferentes clientes das indústrias de alimentação e de bebidas.

1.3 Contexto e objetivo do projeto

O forte foco na expansão através de aquisição de outras empresas na última década fez disparar o grau de complexidade do ambiente da BA, lançando novos desafios ao nível de gestão, controlo e comunicação da empresa, levando a um tremendo esforço de integração das novas fábricas, principalmente no que diz respeito à normalização de processos, indicadores, equipamentos e até unidades de medida.

Este aumento de complexidade aliado a crescentes avanços tecnológicos em sistemas de informação e de armazenamento de dados e a oportunidades de aprendizagem geradas pela integração das empresas adquiridas levaram ao investimento e desenvolvimento cada vez maior de métodos informáticos e automáticos de registo e processamento de dados a todos os níveis da empresa.

Foi neste contexto que surgiu na BA um projeto intitulado *Best Day History*, transversal a todo o grupo, ao qual esta dissertação está intrinsecamente ligada. A filosofia detrás do *Best Day* é simples e consiste fundamentalmente na recolha e registo do maior número de variáveis do processo produtivo possível, aquando da ocorrência de um dia excecionalmente bom de produção, apresentando como principais objetivos:

- Facilitar a replicação das melhores condições possíveis de trabalho para um determinado artigo;
- Normalizar variáveis, processos e indicadores entre fábricas;
- Aumentar o controlo do processo produtivo;
- Implementar meios de recolha automáticos e fidedignos de variáveis;
- Reduzir o tempo de *setup* de máquinas através do armazenamento das melhores combinações de variáveis para cada referência;

- Permitir consulta instantânea de dados entre fábricas;
- Disponibilizar rapidamente dados para análise;

O objetivo desta dissertação é a implementação do sistema de recolha e registo de variáveis do *Best Day* na fábrica de Avintes e aumentar a eficiência da produção através da análise de relações causa-efeito entre variáveis de processo e *setup* e os resultados obtidos.

1.4 Metodologia

Ao longo da dissertação foi adotada a metodologia seguinte:

1. **Integração e estudo da situação inicial** – Integração na empresa e estudo do processo produtivo; familiarização com as variáveis do processo.
2. **Recolha e registo das variáveis** – Estudo da situação inicial do *Best Day* e *benchmarking* da fábrica de Villafranca de los Barros. Recolha e registo manual das variáveis aquando a ocorrência de melhores dias de fabrico.
3. **Preparação de dados para análise** – Definição de variáveis a analisar e respetiva recolha.
4. **Implementação da recolha e registo num forno** – Apresentação do projeto aos vários chefes de divisão, acompanhamento e otimização da recolha de variáveis num dos fornos da fábrica.
5. **Análise de dados e resultados** – Análise dos dados de vários fabricos para definição de relações causa-efeito e valores ótimos para as variáveis de processo.

1.5 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em seis capítulos.

Neste primeiro capítulo contextualiza-se a empresa, o ambiente, o projeto desenvolvido e os respetivos objetivos.

No segundo capítulo é feito um enquadramento teórico dos principais conceitos envolvidos no projeto.

No terceiro capítulo é descrito o processo produtivo em geral e na fábrica de Avintes.

No quarto capítulo é feita uma contextualização do projeto *Best Day History* e dos desafios que se pretende que este solucione.

No quinto capítulo descrevem-se as atividades desenvolvidas e os resultados obtidos nas mesmas.

No sexto e último capítulo resumem-se as conclusões obtidas e apresentam-se potenciais projetos e análises futuras a realizar.

2 Enquadramento teórico

2.1 Melhoria contínua

A melhoria contínua é uma prática utilizada no meio empresarial com o objetivo de atingir ininterruptamente resultados cada vez melhores. Nesta secção apresentam-se os principais conceitos de melhoria contínua nos quais se insere a filosofia *Best Day*. Embora sejam ferramentas poderosas por si só, praticamente todas as metodologias de melhoria contínua beneficiam mutuamente umas das outras, sendo a sua aplicação simultânea um catalisador do seu sucesso.

Como ferramenta que leva à criação de uma base de dados informática com o registo dos dias com melhores resultados produtivos e das variáveis do processo a estes associados, o *Best Day* interliga-se e potencia os resultados de metodologias de melhoria contínua relacionadas com a redução de tempos de mudança e com o controlo do processo. Por serem metodologias utilizadas no dia a dia da unidade fabril de Avintes e com conceitos comuns ao *Best Day* para o aumento da eficiência do processo produtivo, descrevem-se brevemente nesta secção o SMED, o Controlo Estatístico do Processo (CEP) e a Normalização de Processos.

2.1.1 SMED

O *Single Minute Exchange of Die* (SMED) é uma ferramenta para a redução dos tempos de *setup* (mudanças de fabrico) em ambiente industrial, tendo sido inventada por Shigeo Shingo no Japão nos anos 60.

Nesta metodologia, para uma mudança de fabrico apenas existem dois tipos de atividades (Shingo 1985):

- Atividades internas: atividades que só podem ser realizadas com as máquinas paradas.
- Atividades externas: atividades que podem ser realizadas com as máquinas em funcionamento.

Esta ferramenta suporta-se em 3 passos essenciais (Shingo 1985):

Fase #1: Separar atividades internas e externas

O passo mais importante no SMED é distinguir entre atividades internas e externas, fazendo uma análise de todas as tarefas associadas com o processo. Um esforço para tratar o máximo de atividades possível como atividades externas por si só pode diminuir o tempo de *setup* em cerca de 30 a 50%.

Fase #2: Converter atividades internas em atividades externas:

Este passo consiste em reanalisar detalhadamente todas as atividades internas do processo de *setup* e verificar se existe a possibilidade de converter atividades assumidas como internas em externas.

Fase #3: Otimizar os processos para reduzir a duração das atividades:

A última fase do processo SMED consiste em analisar detalhadamente cada atividade interna e externa, otimizá-las e reduzir o seu tempo de execução. Esta fase pode decorrer em simultâneo com a Fase #2.

Na Figura 2.1 pode observar-se uma esquematização das três fases do SMED.



Figura 2.1 - Esquema representativo das fases do SMED (Sanches 2015)

Regra geral, a definição de valores ótimos de trabalho para as variáveis do processo ocorre imediatamente após a mudança, através do ajuste de forma iterativa dessas mesmas variáveis até que seja encontrada uma combinação satisfatória. Embora não relacionada diretamente com o tempo de *setup* mas sim com a eficiência da produção imediatamente após a mudança, o *Best Day* permite a conversão dessa atividade numa atividade externa, permitindo ganhos de eficiência.

2.1.2 CEP

Ao aumentar o número de variáveis do processo produtivo controladas e recolhidas e produzir mais registos relevantes que deverão servir como base de comparação, o *Best Day* contribuirá intrinsecamente para aumentar a área de ação e o nível de detalhe com o qual se aplica o CEP.

O Controlo Estatístico do Processo (CEP) é uma metodologia para a medição e controlo de qualidade durante um processo produtivo através da utilização de métodos estatísticos (Stapenhurst 2013). O início da aplicação de métodos estatísticos à melhoria de qualidade é atribuído a Walter Shewhart em 1924 quando este criou o conceito os gráficos de controlo estatístico de processo, tendo este método sido popularizado no pós-guerra da 2ª Grande Guerra Mundial (Montgomery 2008).

Montgomery (2008) define melhoria de qualidade como a redução da variação nos processos e consequentemente nos produtos. Existem dois tipos de variação num processo produtivo, nunca existindo dois produtos exatamente iguais:

- Variação especial: Variação devido a diferenças controláveis e visíveis no processo, com causa específica, e possível de corrigir.
- Variação comum: Variação aleatória ou natural resultante de fatores aleatórios e/ou inquantificáveis que são inerentes ao processo.

Sendo a variação comum inevitável num processo, o objetivo do CEP passa por reduzir esta ao mínimo possível e eliminar a variação especial do processo. Um processo que opera sem

causas de variação especial classifica-se como um processo em controlo estatístico (Montgomery 2008).

Diagrama de Ishikawa

O diagrama de Ishikawa (o seu criador, em 1959), também apelidado de diagrama de causa-efeito ou diagrama de espinha de peixe, é uma das sete principais ferramentas do CEP, tendo como objetivo identificar as causas raiz de um determinado problema ou efeito. A sua construção efetua-se de acordo com os seguintes passos (Montgomery 2008):

1. Definir o problema ou efeito a ser analisado;
2. Formar a equipa que vai analisar o problema; Desenhar a caixa de efeito e a linha central;
3. Especificar as principais categorias das causas potenciais principais e liga-las à linha central;
4. Identificar as potenciais causas e classificá-las nas categorias definidas no passo anterior;
5. Ordenar as causas por probabilidade de impactarem o problema;
6. Tomar ações corretivas.

Este diagrama é amplamente utilizado na produção de embalagens de vidro quando se pretende eliminar ou reduzir a frequência de ocorrência de um determinado tipo de defeito no produto final, sendo essencial para a análise de relações causa-efeito entre as variáveis do processo e os resultados obtidos na produção. Exemplos do diagrama de Ishikawa podem ser visualizados na secção 5.3.1.

2.1.3 Normalização de processos

Um dos principais objetivos da implementação do *Best Day* é a normalização de processos ao longo das várias fábricas do grupo, incluindo um processo semelhante na rotina de todas as fábricas e garantir que as designações de equipamentos e variáveis controladas são as mesmas, sempre que possível.

A ideia da normalização de processos é garantir que se uma organização efetua uma atividade em locais diferentes, esta é efetuada da mesma forma. Existem vários benefícios associados à normalização de processos: redução de custos de operação, aumento de colaboração entre departamentos, redução de tempo de operação e aumento de qualidade e controlo (Romero et al. 2015). A normalização é um componente chave das técnicas *lean*, permite maior robustez quanto à variabilidade e a obtenção de níveis mais elevados de visibilidade de processos (Chen e Taylor 2009).

A normalização de processos é um dos primeiros e mais importantes passos na melhoria de processos. Não é possível atingir a melhoria contínua se os processos não estiverem normalizados e se cada colaborador realizar as suas atividades de forma diferente (Illikainen 2017).

É impossível evitar que exista alguma variabilidade entre processos e existem razões segundo as quais essa variabilidade é benéfica (Illikainen 2017). Um grau de normalização demasiado elevado tem consequências negativas: Chen e Taylor (2009) concluíram em estudo que, em geral, quanto mais normalização numa organização, menor a participação dos trabalhadores no processo de tomada de decisão e o seu compromisso com a organização.

Há que procurar um equilíbrio entre regras rígidas e criatividade e liberdade de inovação. Para Romero et al. (2015), o objetivo de um esforço de normalização de processos não deve ser

atingir um estado de uniformização completa, mas sim de atingir o ponto ótimo de equilíbrio entre variabilidade local e uniformização geral.

2.2 Técnicas de análise de dados

A criação de registos de dados por si só não leva a melhorias significativas num processo produtivo. O seu potencial de melhoria está na extração de informação relevante que apoie a tomada de decisão. A analítica de dados é hoje uma ferramenta extremamente poderosa, capaz de extrair rapidamente informação relevante da imensidão de dados disponibilizada no mundo geral. A sua utilização é praticamente essencial para qualquer implementação de melhoria contínua, quer para avaliar o problema, convencer pessoas a investirem na filosofia de melhoria, ou para avaliar resultados.

As técnicas de análise de dados dividem-se fundamentalmente em dois tipos:

- Técnicas univariadas: análise de apenas uma variável de resposta isoladamente, focando-se em níveis (localização) e distribuições.
- Técnicas multivariadas: análise simultânea de duas ou mais variáveis de resposta, focando-se em relações de associação entre as variáveis.

Hair et al. (1998) propõe uma metodologia de seis passos para desenvolver, interpretar e validar qualquer análise multivariada:

1. Definir do problema, objetivos de análise e técnica multivariada a ser utilizada.
2. Desenvolver o plano de análise e definir dimensões de amostragem e os tipos de variáveis.
3. Avaliar os pressupostos necessários à técnica multivariada.
4. Estimar o modelo multivariado e avaliar a qualidade de ajuste.
5. Interpretar os efeitos para as múltiplas variáveis.
6. Validar o modelo multivariado, avaliar a generabilidade dos resultados.

Caso os dados em análise sejam de boa qualidade e suficientemente representativos do processo produtivo, é de esperar a extração de informação relevante através das técnicas seguidamente apresentadas.

2.2.1 Comparação de localização

A comparação de estatísticas de localização é uma técnica univariada, utilizada quando se pretende aferir a existência e quantificar diferenças significativas entre os parâmetros de localização de uma variável entre grupos ou amostras.

ANOVA:

Uma das técnicas paramétricas mais comuns para a comparação de parâmetros de localização a análise de variância (ANOVA). Os seus pressupostos são a normalidade das suas variáveis, a homogeneidade de variância, a independência de observações e a sua variável de estudo, que deve ser quantitativa contínua (Field 2005).

Em relação à violação dos seus pressupostos, a ANOVA é considerada bastante robusta. Existem também múltiplos testes associados a esta análise que permitem estimar as diferenças entre cada par de grupos a considerar, normalmente denominados procedimentos pós-ANOVA, que devem ser escolhidos conforme a estrutura dos dados a analisar (Field 2005).

Testes não-paramétricos:

Existem também versões não-paramétricas dos testes de comparação de estatísticas de localização que contornam a violação dos pressupostos paramétricos através da ordenação dos

dados, passando a obter-se uma comparação entre as medianas de vários grupos. Para a comparação entre dois grupos independentes utiliza-se o teste de Mann-Whitney.

O seu princípio de funcionamento é simples: ao ordenar os valores ignorando o grupo ao qual pertence a amostra, se não houver diferenças entre os grupos, espera-se uma frequência semelhante de números de ordem baixos e altos para cada, e ao adicioná-los espera-se que a soma total seja semelhante (Field 2005).

Para comparar múltiplos grupos independentes utiliza-se o teste de Kruskal-Wallis, baseado na ordenação dos dados tal como os testes para a comparação entre dois grupos independentes.

Apesar de serem mais robustos e permitirem a comparação de amostras quando as distribuições violam os princípios paramétricos, os testes não-paramétricos apresentam geralmente menor potência de teste e não permitem estimar as diferenças quando comparados com os métodos paramétricos (Field 2005).

2.2.2 Correlação

Considerada uma técnica de análise multivariada, uma correlação é uma medida da associação entre duas variáveis. Duas variáveis podem ser positivamente relacionadas, negativamente relacionadas ou não estar relacionadas de todo.

Coefficiente de correlação de Pearson (r):

Para duas variáveis numa amostra, o coeficiente de correlação de Pearson, desenvolvido por Karl Pearson, também apelidado de coeficiente de correlação produto-momento ou simplesmente r de Pearson é utilizado para medir a relação linear entre duas variáveis. Para computar este coeficiente, apenas se requer que os dados sejam quantitativos, no entanto, para a estatística do teste ser válida e se poder avaliar a significância do seu valor, as variáveis têm que ser normalmente distribuídas, uma vez que é altamente sensível a *outliers* e a variáveis com elevado enviesamento (Field 2005).

O coeficiente de correlação varia entre -1 e +1, sendo que -1 representa uma associação negativa perfeita, +1 uma associação positiva perfeita e 0 representa ausência completa de associação (Campos e Cabral 2011).

É comum utilizar o coeficiente de determinação (R^2) para descrever a relação entre duas variáveis. Este coeficiente é simplesmente o valor quadrado do coeficiente de Pearson e indica diretamente qual a percentagem da variabilidade de uma variável que pode ser explicada pela variabilidade da outra (Field 2005).

Coefficiente de correlação de Spearman (r_s):

O coeficiente de correlação de Spearman, ou rho de Spearman é uma estatística não-paramétrica, desenvolvida por Charles Spearman, diferindo em relação ao r de Pearson na medida em que é utilizada apenas a ordem das observações em vez do valor observado, sendo o seu cálculo semelhante, e utiliza-se para casos em que se pretende avaliar a relação entre duas variáveis que violem os pressupostos paramétricos (Field 2005).

Ao usar a ordem das observações, este coeficiente acaba por medir a direção e a força de uma relação geral e não de uma relação linear, incluindo-se assim em “grau de associação” (Campos e Cabral 2011), sendo por isso mais robusto em relação a *outliers* e a enviesamento que o r .

Kowalski (1972), num estudo sobre a aplicação do r a distribuições não-normais conclui que a distribuição do r pode ser bastante sensível na presença desses mesmos dados (não-normais) e que a sua utilização deve ser limitada para situações em que as distribuições das variáveis sejam normais.

2.2.3 Machine Learning

As técnicas estatísticas tradicionais têm limitações principalmente no que diz respeito aos pressupostos necessários sobre as suas variáveis em análise, e requerem que os dados sejam ‘bem-comportados’, algo que raramente sucede quando se analisam dados do mundo real. Em comparação e como alternativa, as técnicas de *machine learning* não enfrentam essas limitações, não requerendo qualquer pressuposto sobre as variáveis em análise, sendo especialmente indicadas para *data sets* de grandes dimensões, obtendo de um modo geral resultados de previsão superiores às técnicas estatísticas.

Machine Learning é um ramo da inteligência artificial que permite a computadores aprender e melhorar progressivamente sem intervenção humana. É frequentemente utilizada para criar ou otimizar um modelo matemático que pode ser preditivo ou descritivo com base em conjuntos de dados que se dizem de treino. A aplicação destes métodos a bases de dados é chamada de *data mining* (Alpaydin 2010).

Apesar de serem utilizados com sucesso noutras áreas, atualmente, menos de 10% de utilizadores recorrem a técnicas de *data mining* para resolver problemas na produção (Vazan et al. 2017). A aplicação de métodos de *Machine Learning* no processo produtivo tem como motivação dois objetivos: a previsão de propriedades de qualidade através de dados de input e a identificação de parâmetros de processo que tenham maior influência no resultado (Alvi, Martin, e Gottschling 2017).

Alvi, Martin, e Gottschling (2017) e Vazan et al. (2017) apresentam estudos que demonstram o potencial da aplicação de métodos avançados de *Machine Learning* à gestão e controlo do processo produtivo. Costa e Neve (2016) fizeram uma análise sobre a influência de variáveis do forno na ocorrência de alguns defeitos no processo produtivo do vidro de embalagem, comparando os resultados do processo produtivo com os valores obtidos por duas técnicas preditivas.

Uma das técnicas mais populares e abrangentes de *Machine Learning* é a utilização de redes neurais artificiais, sendo estas particularmente eficazes para fazer previsões e reconhecimento de padrões.

Multilayer Perceptron (MLP):

As redes neurais artificiais são modelos inspirados no funcionamento do cérebro humano. Acredita-se que o cérebro humano processa a informação através de neurónios, que se encontram ligados entre si e a recetores por sinapses, que guardam as memórias. O *perceptron* (Figura 2.2) é a versão artificial deste modo de processar informações, com vários *inputs* (x) e pesos sinápticos (w) a resultarem num ou vários *outputs* (y), conforme o problema a solucionar.

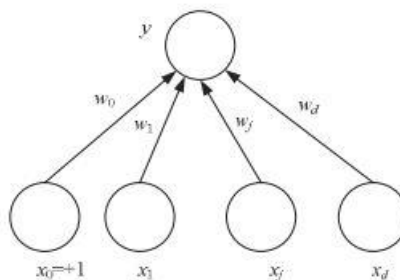


Figura 2.2 - *Perceptron* simples (Alpaydin 2010)

Um *perceptron* simples consegue aproximar apenas funções lineares de *inputs*. Esta limitação ultrapassa-se através da utilização dos MLP, um dos tipos mais populares de redes neurais que

possuem múltiplas camadas: cada *output* gerado pela primeira camada é combinado com uma função de ativação, sendo depois introduzido como *input* na camada seguinte, e sucessivamente até se chegar à camada final de *outputs*. As camadas intermédias são chamadas de camadas ocultas. O treino dos MLP realiza-se através de algoritmos de *backpropagation*, que consistem no ajuste dos vários pesos sinápticos em cada iteração de acordo com uma função que tem em conta o erro entre o valor previsto e o valor real do *output*, sendo guardados os parâmetros que produzem os melhores resultados. Ao conjugar camadas, o MLP consegue ter em conta relações não lineares e complexas entre variáveis, podendo ser utilizado quer para problemas de regressão quer para problemas de classificação, além de não impor restrições sobre as distribuições das suas variáveis de *input* (Alpaydin 2010).

3 Descrição do processo produtivo

3.1 Processo produtivo do vidro de embalagem

O tipo de vidro utilizado na produção do vidro de embalagem é o vidro soda-cal-sílica, assim denominado devido aos seus constituintes principais, uma vez que é pouco dispendioso, quimicamente estável e altamente maleável. A sua composição torna-o também ideal para reciclagem.

O processo de produção de vidro de embalagem ocorre em duas zonas: Zona Quente (ZQ) e Zona Fria (ZF) e divide-se em 6 fases diferentes: Composição, Fusão, Moldação, Recozimento e tratamentos de superfície, Inspeção e controlo de qualidade, e finalmente, Embalagem. A esquematização do processo pode ser observada na Figura 3.2:

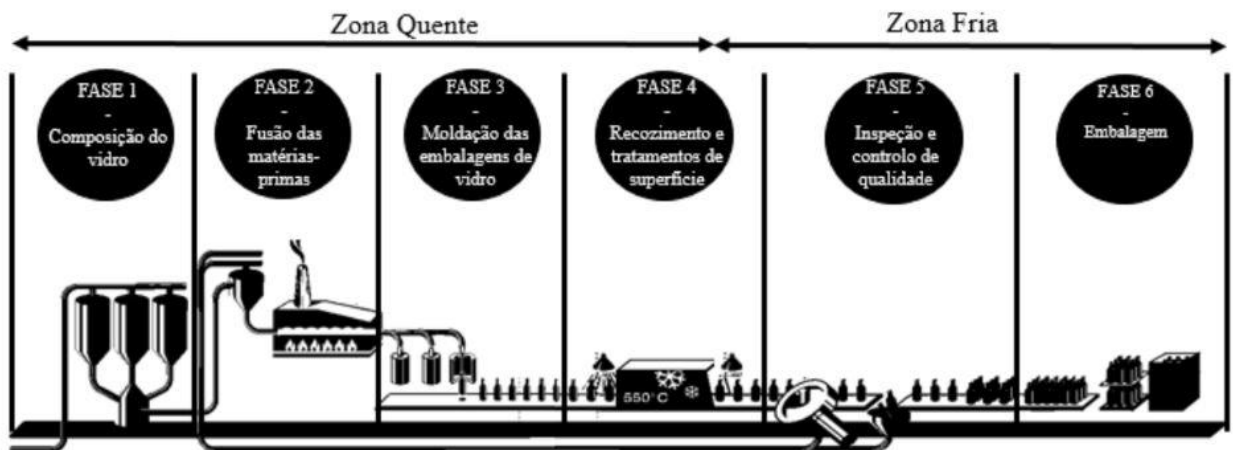


Figura 3.1 - Processo produtivo das embalagens de vidro (Alves 2012)

Fase #1 – Composição:

A primeira fase do fabrico ocorre na composição e consiste na pesagem e mistura das várias matérias primas, gerando a pasta de vidro que será posteriormente fundida no forno. A proporção na qual são incluídos estes materiais pode ser observada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Proporção dos consituientes da matéria prima (BA Glass 2018a)

<i>Matéria Prima</i>	<i>Peso Total (%)</i>
Sílica (SiO ₂)	70-72
Óxido de Sódio (Na ₂ O)	12-14
Óxido de Cálcio (CaO)	9-11
Óxido de Alumínio (Al ₂ O ₃)	1-2
Óxido de Magnésio (MgO)	0-3
Outros óxidos metálicos	0-1

A Sílica (SiO₂, principal constituinte da areia), é o principal componente, que serve como agente vitrificante, enquanto que a Soda (Na₂O) é usada para reduzir a temperatura de fusão. O propósito da cal (CaO) é baixar o custo e minimizar a ocorrência de desvitrificados enquanto que o alumínio (Al₂O₃), óxido de magnésio (MgO) e outros óxidos metálicos (maioritariamente óxido de potássio, K₂O), melhoram a durabilidade química e servem como afinantes. Outras substâncias como ferro, cobre e carvão podem também ser adicionados em pequenas quantidades para efeitos de corante.

A mistura resultante é depois misturada com vidro reciclado, regularmente chamado de ‘casco’, que provém de fontes internas (produtos defeituosos/rejeitados) e externas, reduzindo assim o ponto de fusão da mistura final, o que se traduz em poupanças em matéria prima e utilização de energia. O uso de ‘casco’ possui, no entanto, algumas contrapartidas, aumentando a probabilidade de introdução de contaminantes cerâmicos que reagem com o vidro líquido e diminuem a sua qualidade. Na fábrica de Avintes, o ‘casco’ representa entre 55 a 70% do total de matéria prima consumida.

Fase #2 – Fusão

Após a mistura, a pasta de vidro resultante é transportada até ao forno, onde é derretida entre os 1500 e os 1600 °C. Os fornos de vidro possuem duas câmaras regenerativas com o seguinte funcionamento: os gases de desperdício atravessam uma das câmaras aquecendo-a enquanto que na outra circula o ar utilizado para a combustão, alternando-se algum tempo depois o sentido da circulação dos gases e do ar, obtendo-se benefícios na poupança de energia. Os fornos são alimentados a gás natural e existem no fundo eléctrodos que proporcionam ajuda elétrica (também apelidada de *boosting*) no processo de fusão. O vidro passa depois para uma segunda zona do forno, o *refiner*, onde é condicionado para eliminar bolhas de gás que se formam aquando da fusão. A mistura resultante é depois encaminhada para os canais de distribuição por efeito da gravidade, onde se inicia o processo de moldação das embalagens de vidro.

Fase #3 – Moldação das embalagens de vidro

Após a saída do forno, o vidro é condicionado nos canais até ser cortado em gotas e moldado nas máquinas IS (*Independent Section*) onde vai tomar a sua forma final. Esta fase do processo produtivo encontra-se descrita em detalhe na secção 3.2.

Fase #4 – Recozimento e tratamentos de superfície

Devido à natureza do processo de moldação e à baixa condutividade térmica do vidro, imediatamente após a formação dos artigos, existe uma diferença considerável de temperatura entre o interior e o exterior da embalagem, causando tensões internas que tornam o produto muito frágil. Para eliminar essas tensões, as embalagens passam por uma arca de recozimento, na qual são reaquecidas até a uma temperatura que ronda os 550 °C. O primeiro de dois tratamentos de superfície, o tratamento de superfície a quente (TSQ), é pulverizado nas

garrafas e é composto por titânio e cloreto de estanho. A sua função é aumentar a resistência mecânica e aumentar a aderência do tratamento de superfície a frio (TSF). Esta parte do processo, nomeadamente a saída das embalagens da arca de recozimento, marca o final da ZQ.

A ZF inicia-se com a aplicação do TSF, que consiste na pulverização de um polietileno de baixa densidade que, juntamente com o TSQ, cria um filme protetor que reduz o atrito entre garrafas e previne o aparecimento de riscos.

Fase #5 – Inspeção e controlo de qualidade

Após o tratamento de superfície, os produtos são direcionados para as máquinas de inspeção em linha (MIL) que automaticamente inspecionam e rejeitam unidades defeituosas, com as últimas e serem enviadas para um circuito interno que as introduz novamente na Fase #1 do processo como ‘casco’. Estas máquinas dividem-se em dois tipos baseado em como inspecionam as embalagens: visual, que inspecionam via fotografias e algoritmos de análise de imagem, e rotativas, que devem o seu nome à forma como as garrafas são inspecionadas no seu interior, passando por várias estações onde são submetidas a múltiplos sensores e testes.

As MIL possuem vários contadores eletrónicos ligados a um *software* de controlo que permite a visualização imediata da quantidade e percentagem de garrafas rejeitadas, bem como da razão que levou à rejeição. Caso estejam a funcionar corretamente, as máquinas identificam o molde de onde é originária cada garrafa facilitando a identificação de problemas e origem de defeitos.

Fase #6 – Embalagem

No final da linha de produção, as embalagens conformes seguem para a paletização automática, onde são empilhadas por camadas, em paletes, e cobertas com uma manga termo retrátil que as protege e facilita o transporte. As paletes são enviadas para o armazém, finalizando assim o processo produtivo.

3.2 Moldação de embalagens de vidro

Uma vez que é a principal parte do processo produtivo abrangida pelo *Best Day* e por esta dissertação, nesta secção descreve-se detalhadamente a parte do processo produtivo correspondente à moldação das embalagens de vidro, incluindo o condicionamento do vidro após a saída do forno, o corte de gota no *feeder* e a moldação das embalagens propriamente dita nas máquinas IS.

3.2.1 Condicionamento

O condicionamento inicia-se imediatamente após a saída do vidro do forno e ocorre nos canais distribuidores (ou *forehearth*). O seu objetivo é conferir à mistura a viscosidade (a propriedade mais importante no processo produtivo) pretendida, eliminar as bolhas de ar retidas (oxigénio, nitrogénio) geradas pelo processo de fusão e maximizar a homogeneidade do vidro líquido tanto na temperatura como na composição (Bourhis 2008).

Como pode ser observado na Figura 3.2, o processo de condicionamento é realizado através do controlo de múltiplos queimadores que aquecem as laterais do canal e ventiladores que arrefecem o centro do canal, com termopares medindo as temperaturas em vários pontos diferentes. O vidro tem tendência a estar relativamente mais frio nas laterais do canal devido a trocas térmicas com as paredes do mesmo (Hubert 2015).

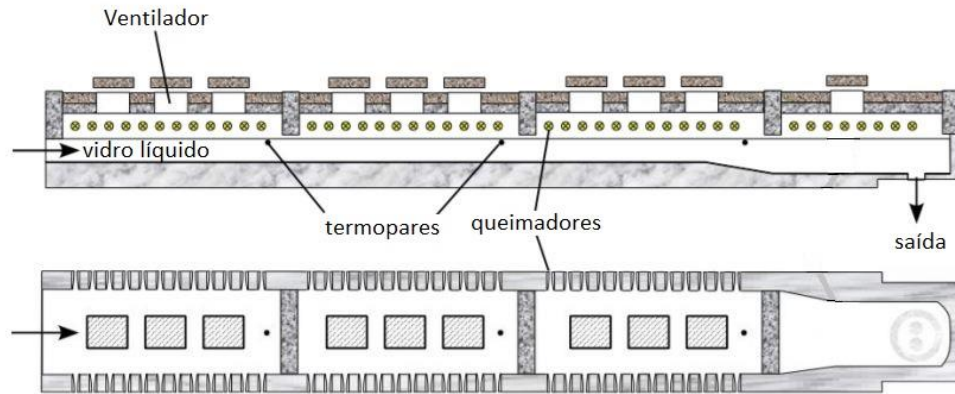


Figura 3.2 - Esquema de um *forehearth* da produção de vidro de embalagem (Hubert 2015)

Antes da entrega do vidro eliminam-se as bolhas do vidro. As bolhas maiores ascendem ao topo da massa vítrea líquida e participam na homogeneização do vidro. As bolhas mais pequenas, no entanto, não são eliminadas devido ao aumento do tempo necessário para ascender com a diminuição do seu tamanho. Há duas soluções para isto, ou o gás se dissolve ou aumenta-se o tamanho das bolhas. Estas acções são aceleradas por agentes afinantes que se introduzem na composição do vidro (Bourhis 2008).

Este processo termina com a entrada do vidro no *feeder*, onde são formadas as gotas que depois serão transformadas em embalagens de vidro.

3.2.2 Feeder

O *feeder* é o mecanismo e conjunto de componentes responsável pelo corte do vidro líquido em gotas com o comprimento, forma e peso desejado. A forma e consistência da gota são críticas para a eficiência do processo de moldação (Martins 2017). Os constituintes do *feeder* são feitos de material refratário resistente a altas temperaturas e são por isso normalmente apelidados de refratários.

O vidro, nesta fase a cerca 1200 °C e com a aparência de um xarope laranja, entra na bacia vindo do *forehearth*, por ação da força de gravidade. Dentro da bacia, o vidro entra num tubo cilíndrico giratório que permite ventilação, e é depois empurrado por pilões, atravessando um *ring* com rasgos circulares que dimensionam o diâmetro e o número de fios. Imediatamente após a passagem pelo *ring*, as lâminas cortam o fio em gotas com o volume pretendido. O corte é facilitado pelo arrefecimento do vidro aquando do contacto das lâminas, sendo estas lubrificadas e arrefecidas com óleo, água e ar (Bourhis 2008). Este processo encontra-se esquematizado na Figura 3.3.

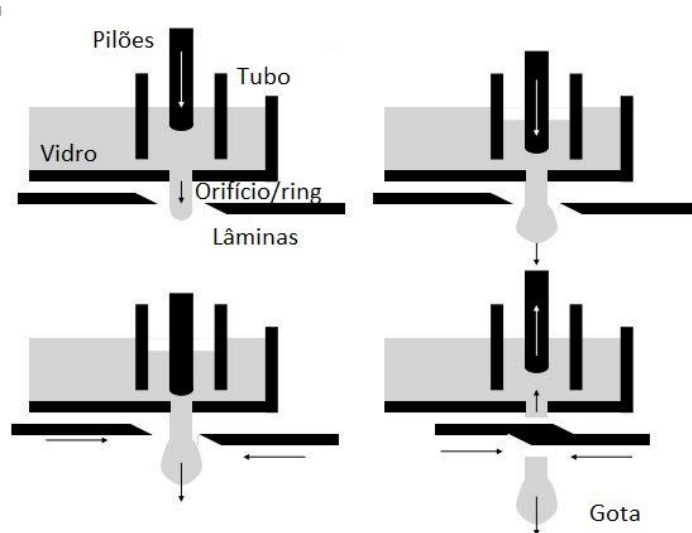


Figura 3.3 - Processo de corte de gota (Bourhis 2008)

Após a sua formação, a gota é direcionada para as máquinas IS onde será transformada numa embalagem de vidro.

3.2.3 Máquinas IS

As máquinas IS (Figura 3.4) são o standard produtivo da indústria de produção de embalagens de vidro, tendo sido inventada em 1924 por Henry Ingle e Charles Smith, não existindo consenso sobre se a abreviatura “IS” representa *Individual Section* ou se foi adotada em homenagem aos seus inventores (Cable 1999).

A principal particularidade destas máquinas é que cada secção replica o processo produtivo independentemente das outras, podendo ter entre um a quatro jogos de moldes em produção simultânea. As máquinas atualmente existentes possuem sistemas de *timing* elétricos que controlam os vários movimentos de atuadores pneumáticos e hidráulicos, são altamente customizadas para o produtor em questão e possuem entre 6 e 20 secções a produzir em simultâneo, permitindo já cadências de produção superiores a 600 embalagens por minuto (Eustice 2008).

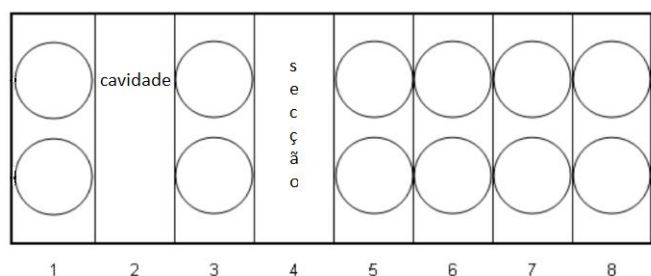


Figura 3.4 - Máquina IS de 8 secções e cavidade dupla (Almada-Lobo 2007)

Apesar de algumas tentativas, nenhuma máquina nova tem sido até agora capaz de rivalizar com as máquinas IS. Isto sucede devido ao investimento pesado em capital que os principais produtores já realizaram para obter e operar as suas máquinas IS. Mesmo inovações radicais às própria máquinas IS enfrentariam obstáculos semelhantes (Cable 1999).

Equipamento de entrega:

Após o corte, as gotas são direcionadas pelos tubos guia, novamente arrefecidos com óleo água e ar, para o equipamento de entrega (Figura 3.5), que recebe as gotas imediatamente

após o corte para entrega às cavidades da máquina. Um distribuidor move o *scoop* para a entrada das calhas de acordo com a ordem de carga, que é calculada para reduzir o movimento do *scoop* e manter os *timings* e movimentos sincronizados. No final das calhas, a gota é direcionada pelos defletores para a moldação propriamente dita das embalagens (Martins 2017).

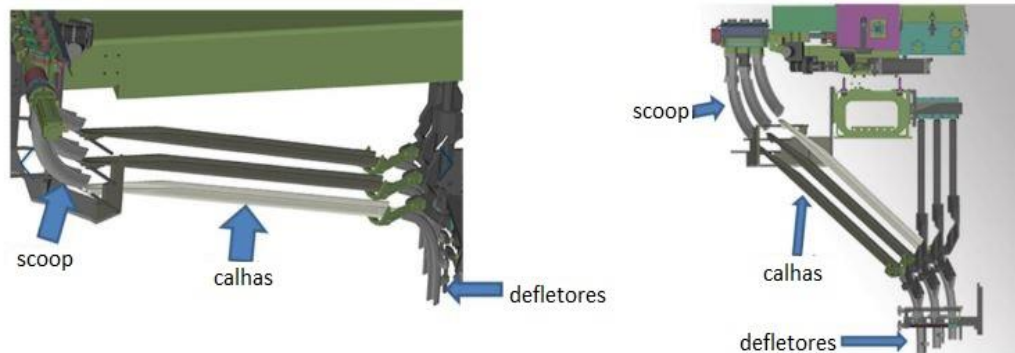


Figura 3.5 - Equipamento de Entrega (Martins 2017)

Moldes:

A moldação das embalagens de vidro ocorre a dois tempos e requer três moldes diferentes para a sua produção: o molde de principiar (MP, também denominado de contramolde), onde o artigo adquire a sua forma inicial, chamado de *parison* ou esboço, o molde final (MF), onde o *parison* é transformado na sua forma final, e a boquilha, que molda a marisa, parte superior da embalagem onde depois é feito o encapsulamento (Bourhis 2008).

A possibilidade de os moldes extraírem calor do vidro líquido é um fator chave a determinar a resistência da embalagem produzida, e as máquinas IS conferem uma grande vantagem para isso uma vez que os mantêm sempre na mesma posição. Avanços nos materiais têm um contributo importante mas o principal fator foi a invenção do sistema *Vertiflow* que consiste em permitir a circulação de ar por vários orifícios verticais no corpo dos moldes, permitindo um melhor controlo da distribuição de temperaturas nos mesmos (Eustice 2008).

Processos:

Existem dois processos diferentes segundo os quais se moldam as embalagens de vidro nas máquinas IS: o Soprado-Soprado (BB, *Blow-and-Blow* em inglês), e o Prensado-Soprado (PB, *Press-and-Blow* em inglês).

No BB (Figura 3.6), a gota entra no MP e na boquilha que já se encontram na posição fechada para a receber, moldando-se assim a marisa das embalagens. Ar comprimido é soprado para comprimir a gota contra o MP, formando assim o *parison*. O MP abre e logo de seguida o braço porta-boquilhas move o *parison* num semicírculo vertical colocando-o em posição para ser envolto pelo MF. O MF reaquece o *parison* que volta a ser moldado através do sopro de ar comprimido para o seu interior, formando assim a embalagem final. Em seguida, o MF abre, e pinças (retiradores) pegam nas embalagens e pousam-nas nas placas mortas, placas metálicas com ventilação para arrefecimento das embalagens (Cable 1999). As placas mortas efetuam um movimento giratório e um *pusher* empurra as embalagens para o tapete rápido, também arrefecido via ar comprimido, terminando assim o processo de moldação.

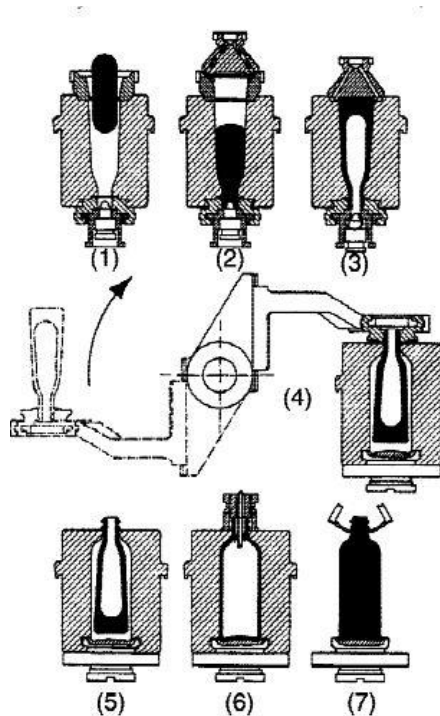


Figura 3.6 - Processo BB: (1) a gota entra no molde; (2) a boquilha é enchida (3) formação do *parison* por sopro (4) abertura de molde de principiar, inversão e fecho do MF; (5) abertura da boquilha e reaquecimento de *parison*; (6) sopro final; (7) pinças removem a garrafa (Cable 1999).

O processo PB é essencialmente igual ao processo BB exceto na forma como o *parison* é moldado (Figura 3.7): ao invés da utilização de ar comprimido, uma punção metálica é introduzida, rasgando e comprimindo a gota contra o MP e formando o esboço inicial (Bourhis 2008).

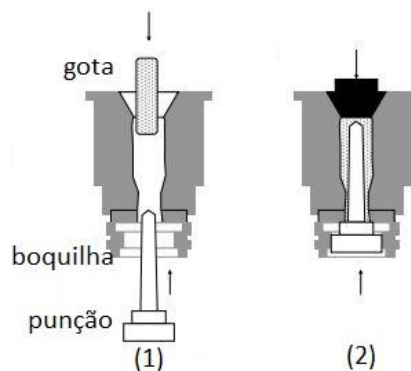


Figura 3.7 - Formação de *parison* no processo PB: (1) gota entra no molde; (2) movimento de prensagem (Bourhis 2008).

Tradicionalmente, o processo de PB era utilizado para embalagens de boca larga e não para garrafas de gargalo estreito, sendo mais usualmente utilizado para frascos (Eustice 2008). O PB permite um maior controlo sobre a forma do *parison* e consequentemente sobre a distribuição do vidro em relação ao BB (Bourhis 2008).

Amplamente utilizado pela indústria das embalagens de vidro para a produção de garrafas leves de gargalo estreito é o processo de *Narrow-Neck-Press-and-Blow* (NNPB). Este processo, inventado em 1968, é uma variação do PB para garrafas de gargalo estreito, que combina o maior controlo sobre a distribuição do vidro com a possibilidade de produzir garrafas de gargalo estreito. Esta possibilidade advém da evolução na tecnologia de materiais sendo agora possível utilizar punções estreitos e longos e controlar a sua distribuição de temperatura (Eustice 2008). Comparando com o BB, este processo permite o fabrico de

embalagens mais leves mantendo ao mesmo tempo a espessura e resistência mínima do vidro necessária, sendo também ligeiramente mais caro devido à necessidade de troca frequente de punções e do seu custo.

Perspetivas futuras:

Não aparentando estar para breve a substituição das máquinas IS por outro tipo de máquina no fabrico das embalagens de vidro, existem melhorias constantemente a ser estudadas para as máquinas IS. Em 2000 foi introduzida a primeira máquina com um sistema de controlo completamente servo-elétrico que permite maior controlo e redução de desgaste dos atuadores em relação aos atuadores pneumáticos tradicionais (Eustice 2008).

Devido ao seu melhor desempenho, o NNPB tem tendência a substituir cada vez mais o processo BB, podendo ser uma alternativa viável para embalagens maiores e mais pesadas, com melhoramentos constantes no material que compõe as punções e na possibilidade de melhorar o seu arrefecimento. Existem já alguns estudos, como Hu et al. (2015) e Hu, Slusser, e Smay (2016) que suportam essa mudança e uma redução cada vez mais gradual no peso necessário para produzir embalagens com os mínimos de resistência necessários.

Eustice (2008) fez um levantamento de algumas possibilidades de inovação que se prevê que possam ser aplicadas num futuro próximo, destacando-se o condicionamento avançado de gota imediatamente após o corte e a introdução de um processo a apenas um tempo, através da utilização de uma punção porosa que efetue o movimento de prensagem e de sopro no mesmo molde.

3.3 Produção na fábrica de Avintes

Na unidade fabril de Avintes existem 3 fornos, AV2, AV4 e AV5, que se encontram continuamente ativos e por sua vez alimentam 11 linhas de produção, como pode ser observado na Figura 3.1. Cada forno consegue apenas produzir uma única cor de vidro de cada vez, o que, no momento de escrita desta dissertação e é caracterizado pela sua capacidade nominal, respetivamente 250, 215 e 367 toneladas/dia. A cor pode ser alterada conforme decisões de planeamento, mas requer, no entanto, cerca de dois dias só para a mudança. É comum os fornos trabalharem acima da sua capacidade nominal, podendo chegar a uma utilização de 140%, conforme o estado e o tempo que decorreu desde a última reparação.

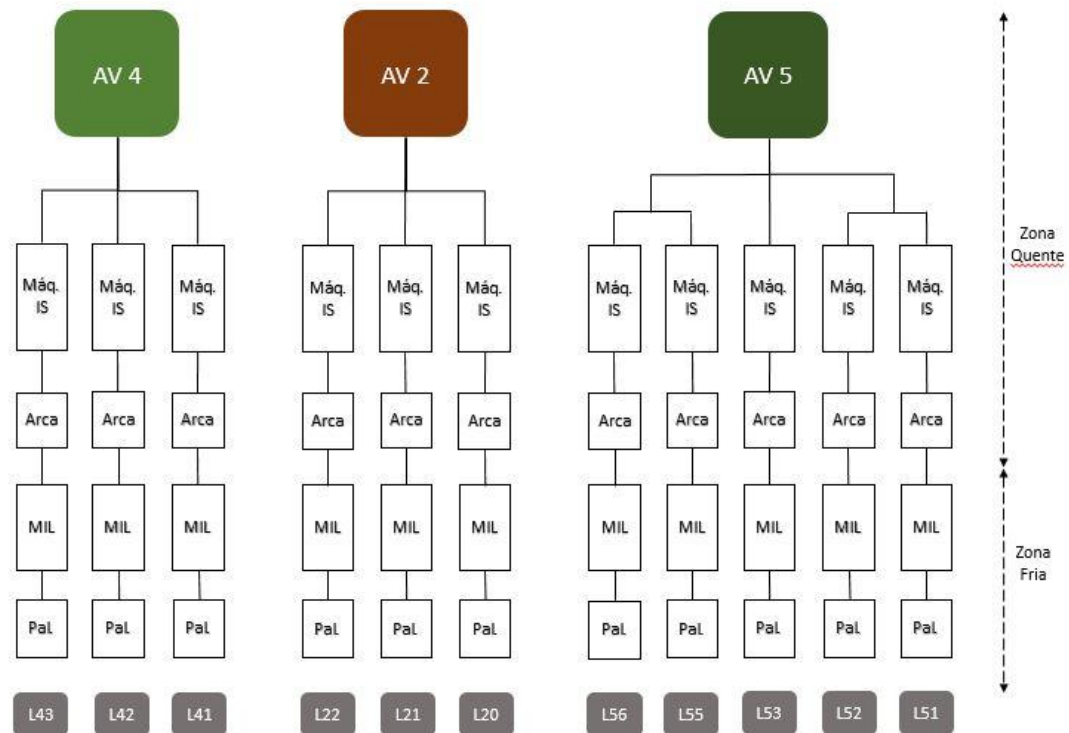


Figura 3.8 - Esquema das linhas produtivas na fábrica de Avintes

As linhas 51/52 e 55/56 trabalham em *tandem*, ou seja, o canal de condicionamento é comum às duas linhas ocorrendo depois a separação aquando da distribuição de gota. Isto implica que as linhas trabalhem à mesma cadência, não podendo produzir artigos com características muito díspares.

Um determinado tipo de produto é denominado como uma referência que é composta por 8 caracteres alfanuméricos. Os primeiros 4 são referentes à embalagem em si enquanto que os últimos caracterizam o tipo de marisa (exemplo de uma referência: 4088C002).

Os principais produtos produzidos em Avintes são garrafas de cerveja, vinho, bebidas espirituosas e água gaseificada e embora as linhas de produção sejam diferentes e os seus parâmetros variem conforme o artigo em fabrico, os seus processos de fabrico e inspeção de defeitos são semelhantes.

3.4 Defeitos

As nomenclaturas das várias zonas de uma garrafa de vidro estão explicitadas na Figura 4.1.

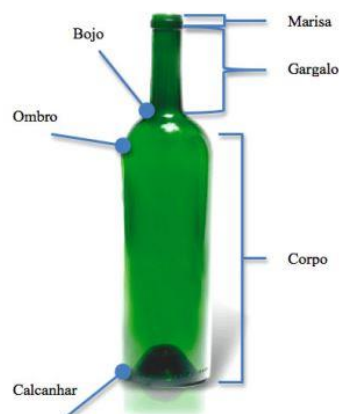


Figura 3.9 - Nomenclaturas das zonas de uma garrafa de vidro (Sanches 2015)

Dada a natureza altamente variável do processo de fabrico na indústria vidreira e a grande quantidade de fatores envolvidos, a ocorrência de defeitos nas embalagens é inevitável, existindo na fábrica de Avintes mais de 100 defeitos diferentes classificados com um código número único de 3 dígitos.

Estes defeitos classificam-se em 3 categorias diferentes, conforme o nível de perigo que apresentam:

- **Defeitos críticos:** Defeitos que podem originar danos físicos ao consumidor final, normalmente associados à zona da marisa e a contaminação do interior da garrafa com vidro solto. Estes defeitos são os mais graves e aqueles que geram mais problemas, não só à BA mas também aos seus clientes caso cheguem ao consumidor final.
- **Defeitos absolutos:** Defeitos que originam problemas nas linhas de enchimento, ou afetam a funcionalidade pretendida de uma embalagem: os mais comuns sendo estalados, fissuras e presença de infundidos no vidro. Estes defeitos, não sendo controlados, levam a reclamações no cliente.
- **Defeitos relativos:** Defeitos que não afetam o funcionamento de uma embalagem, estando apenas relacionados com o seu aspeto visual.

Para garantir a rejeição destes defeitos nas MIL são passados regularmente padrões, garrafas com defeitos devidamente identificadas da referência em máquina. Uma máquina de inspeção encontra-se a funcionar corretamente se rejeitar todos os padrões consistentemente. Caso isso não suceda, a produção desde a última passagem correta de padrões é reinspeccionada e a máquina é afinada até garantir a rejeição.

4 Situação e contexto inicial

4.1 O projeto *Best Day History*

Tradicionalmente, as fábricas do grupo apresentam bastante autonomia na forma como são geridas e como são controlados os processos em cada uma. Isto leva a que a comunicação e colaboração entre as várias unidades fabris seja muito reduzida perdendo-se assim oportunidades de melhoria. Muito do controlo de processo e tomada de decisão é feito com base na experiência e *know-how* dos colaboradores com pouco ou nenhum suporte de técnicas analíticas, com a grande maioria das variáveis de controlo como temperaturas e pressões de trabalho a serem medidas e registadas manualmente em papel ou em vários ficheiros Excel espalhados pela rede interna da fábrica, com metodologia própria de cada divisão, tornando difícil o acesso e a visualização clara das várias partes do processo até entre pessoas da mesma fábrica mas de divisões diferentes. Registam-se assim desperdícios de tempo consideráveis não só na recolha de variáveis, mas também na consulta e troca de informação e identificação e resolução de problemas.

Numa área de negócio cada vez mais complexa, a flexibilidade no planeamento e diversidade de possibilidades de fabrico são essenciais, levando a uma maior comutabilidade de pessoas e referências entre as várias fábricas, e uma necessidade da empresa se suportar mais na qualidade dos seus processos e menos na experiência dos colaboradores, agudizada ainda pela expansão dos anos recentes.

Com vista a endereçar estas situações têm surgido várias iniciativas com vista à normalização de processos sendo o projeto *Best Day History* uma delas. Este projeto surge na empresa aquando da entrada no capital da *Anchor Glass*, empresa com rendimentos de fábrica superiores aos da BA, com base num sistema utilizado nas fábricas americanas que consiste fundamentalmente na recolha e registo, para cada combinação linha/referência, dos melhores dias de fabrico, dos seus indicadores e dos valores de variáveis do processo em sistema.

Um dia é um *Best Day* quando são satisfeitas simultaneamente as três condições seguintes:

- A produção conforme em parque (em unidades) é a maior registada até ao momento;
- Não ocorreu nenhum defeito crítico na linha;
- Não houve nenhuma paleta não-conforme;

4.1.1 Etapas para a implementação do projeto

A implementação do projeto na BA está a cargo do departamento de normalização e gestão do conhecimento e pode ser decomposta em 5 fases:

Fase #1 – Definição das variáveis a registar:

Escolha das variáveis relevantes a registar, divisão por secções e categorização pelos seguintes tipos, como exemplificado na Figura 4.1.

- **Tipo 1:** Variáveis informativas: variáveis como a referência a produzir e indicadores de resultados obtidos, não sendo parâmetros do processo produtivo propriamente dito.
- **Tipo 2:** Variáveis críticas a duplicar: variáveis que se considera terem uma importância elevada no processo produtivo, sendo as principais variáveis que se pretende replicar em fabricos futuros, como por exemplo temperaturas de moldes.
- **Tipo 3:** Variáveis facilmente duplicáveis: variáveis que se replicam muito facilmente, como número de horas para mudanças programadas e tipo de equipamentos utilizados.
- **Tipo 4:** Variáveis dificilmente duplicáveis: variáveis que são praticamente impossíveis de replicar em fabricos diferentes como parâmetros altamente variáveis ou o tempo em máquina de alguns equipamentos.

1. General		Type Variable definiton
1.1	Model-finish	1 char
1.2	Date	1 date
1.3	Glass color	1 char
1.4	Line	1 char
1.5	Process	1 char
1.6	Speed [bpm]	3 Integer, 3 digits
1.7	Active Sections	1 Integer, 2 digits
1.8	Gross Pull [tons/day]	1 Integer, 3 digits
1.9	PTM [%]	1 decimal nn,n
1.10	HE Efficiency [%]	1 decimal nn,n
1.11	Rej. Insp. Mach. [%]	1 decimal nn,n
1.12	Net Production (pcs)	1 Integer, 6 digits
1.13	Held Ware [pcs]	1 Integer, 6 digits

Figura 4.1 - Exemplo de definição variáveis do *Best Day* a registar

Ao todo definiram-se 273 variáveis a gravar, sendo que algumas destas se multiplicam ainda pelo número de secções em fabrico da máquina IS ou pelo número de gotas.

Fase #2 – Desenvolvimento da plataforma em rede:

Desenvolvimento e disponibilização da plataforma em rede que permite o registo e consulta por parte das fábricas. Implementação de registo automático de alguns dados via SAP.

Fase #3 – Registo progressivo de *Best Days* pelas fábricas:

Registo dos melhores dias de produção de forma progressiva e manual por parte das fábricas, em fornos e linhas de teste, gerando feedback, sugestões de melhorias e identificando os principais problemas com a plataforma, cuja resolução fica a cargo da equipa do projeto.

É esperado também que as fábricas explorem utilizações possíveis para o *Best Day*, principalmente a nível de controlo do processo de fabrico e de definição de variáveis de *setup*.

Fase #4 – Implementação de mecanismos de recolha automática:

Instalação de sensores para recolha automática de temperaturas, pressões e caudais, nas linhas e fornos de teste que participaram na fase anterior, eliminando simultaneamente as fontes de erro relacionadas com a recolha manual feita inicialmente e as perdas de tempo dos operadores devido à recolha e registo de variáveis.

Fase #5 – Implementação geral:

Alargamento do registo para todos os fornos do grupo e utilização generalizada da metodologia *Best Day*, enraizando os procedimentos e a sua utilização na rotina das várias fábricas, inserindo-o num ciclo de melhoria constante e criando uma base de dados útil e que gere possibilidade de análises, comparação e definição de objetivos ambiciosos.

4.1.2 Situação inicial do projeto

Aquando do início desta dissertação, o projeto encontrava-se no início da Fase #3, já estando disponível uma versão inicial da plataforma funcional em rede, visível na Figura 4.2, sendo que apenas uma das fábricas do grupo, a fábrica de Villafranca de los Barros, efetuava os registos dos melhores dias de produção no sistema. A plataforma apresentava ainda alguns erros e gralhas e carecia de testes.

BD List	Approved	Plant	Ref	Line	Date	Color	Process	PTM	Net Prod pcs	HE EFF	IM Rej	General	Furnace	IS Mac	Forming	Moulds	Glass	HEC & Ann	Timing	CE History	Val	Others
		MG	6805T248	MGB1	18.10.2017	BR	PS	73.85	200,160	77.59	10.03											
		MG	6369T194	MGC1	12.11.2017	BR	PS	93.48	460,408	97.56	4.19											
		VF	4164C002	VFD2	22.11.2017	AM	NN	94.15	849,590	97.88	3.65											
		MG	5813T173	MGB1	29.11.2017	BR	PS	81.62	274,241	91.90	3.67											
		VF	2158C002	VFD3	30.11.2017	AM	NN	92.73	546,120	96.30	3.42											
		VF	4296C002	VFD2	09.12.2017	AM	NN	93.72	723,330	98.00	3.98											

Figura 4.2 – Plataforma *Best Day*

Simultaneamente, a vasta maioria das pessoas da fábrica de Avintes não estava familiarizada com o *Best Day*, havendo muita confusão relativamente ao seu funcionamento e propósito, encontrando-se o registo de dados em *standby*.

O projeto tem como principal foco a área da fabricação, por ser a área com mais parâmetros e a mais complexa de gerir todas as suas variáveis e interações e a mais difícil de replicar as condições de trabalho e resultados em fabricos anteriores. Isto implica que essa seja a área com maior carga de trabalho na recolha de variáveis, mas que apresenta simultaneamente o maior potencial de ganho com o projeto.

4.2 A fabricação

A Divisão da Fabricação (DFA) é responsável pela moldação das embalagens de vidro, estando a seu cargo as fases do processo produtivo desde que o vidro líquido passa do forno para o *refiner* até imediatamente antes de entrar na arca de recozimento. A sua principal função é manter o processo o mais estável possível através do controlo e ajuste de vários parâmetros do condicionamento e das máquinas IS bem como planear e efetuar mudanças programadas de ferramenta.

A DFA decompõe-se em duas subdivisões: fornos AV2/AV4 e forno AV5, sendo cada uma liderada por um chefe de divisão. Existem depois as equipas de dia e os turnos. Nos fornos AV2 e AV4 a equipa de dia é constituída por três especialistas (um para o forno 2, um para o forno 4 e outro especialista geral) sendo a equipa do turno composta por seis condutores de máquina (um por cada linha) e dois afinadores (um por cada forno). No forno 5 existem três especialistas de dia, com o turno composto por cinco condutores de máquina e dois afinadores.

Os condutores de máquina são responsáveis por controlar a sua linha através de inspeções visuais e de realizar as medições do controlo estatístico do processo (CEP), pela lubrificação das várias cavidades, pela realização de mudanças de ferramenta programadas e por identificar, reportar e corrigir situações fora de controlo. Os afinadores supervisionam e auxiliam os condutores de máquina nas suas tarefas, garantem o cumprimento de parâmetros e recolhem e registam vários dados de seguimento dos fornos e das linhas. Por último, os especialistas atuam e tomam decisões sobre os vários parâmetros, focando-se em encontrar causas e solucionar os vários problemas que surgem e em otimizar ao máximo as linhas de produção.

4.3 Objetivos iniciais

Os objetivos iniciais desta dissertação eram a implementação da filosofia *Best Day* na fábrica de Avintes através da introdução, acompanhamento e otimização do processo de recolha e registo de variáveis. Paralelamente, pretendia-se também explorar aplicações práticas para esse registo, analisando-se as variáveis de processo e *setup*, com vista a encontrar relações e efeitos entre essas variáveis, a eficiência da produção e a ocorrência de defeitos, definindo-se valores de trabalho ótimos para as variáveis.

Para tal, recolheram-se dados diários das linhas 21 e 22 desde 01-01-2017 até 16-04-2018. Ambas as linhas têm máquinas de 12 setores que funcionam sempre em NNPB, com produções estáveis e fabricos longos, e como tal menos sujeitas a ruído causado por fatores externos e mudanças frequentes. As suas máquinas IS são também semelhantes, o que leva a que fabriquem várias vezes as mesmas referências e que sejam compostas por componentes semelhantes, permitindo assim possibilidades adicionais de comparação para a análise dos dados.

5 Desenvolvimento do projeto

5.1 Implementação do processo de registo de variáveis

A implementação do processo de registo de variáveis decorreu em conjunto com praticamente todas as divisões da fábrica, sendo por isso necessário uma abordagem planeada para que esta fosse integrada o mais facilmente possível nas rotinas. O objetivo desta implementação foi realizar o registo do máximo número de *Best Days* possível no menor tempo, não interferindo com o restante funcionamento da fábrica.

O processo de recolha e registo de variáveis é na sua génese bastante simples e encontra-se esquematizado na Figura 5.1.

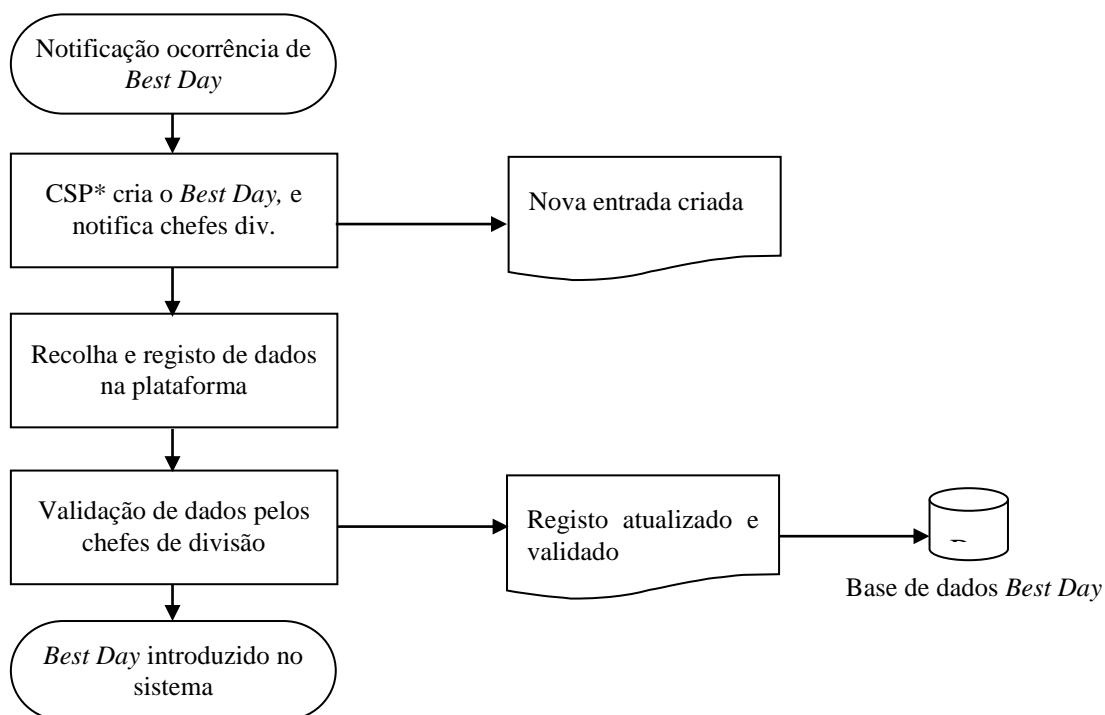


Figura 5.1 - Processo de recolha das variáveis *Best Day* (*CSP: Chefe de Serviço de Produção)

O registo de um melhor dia de produção pode ser gerado de duas formas diferentes conforme o tipo de ocorrência:

- Registo novo - na primeira vez em que uma combinação linha/referência regista um melhor dia, preenchendo-se todas as variáveis.
- Registo por cópia – ocorre quando uma combinação linha/referência regista um melhor dia, superior ao anterior registo, ficando as variáveis registadas com o mesmo valor do melhor dia anterior, sendo apenas necessário alterar os valores diferentes e confirmar os que se mantém inalterados.

As atividades desenvolvidas para a implementação do processo de registo e recolha de variáveis do *Best Day* podem dividir-se em três principais momentos: as atividades de preparação desenvolvidas antes do início da recolha, o acompanhamento e otimização das recolhas, e a definição de objetivos futuros.

5.1.1 Fase inicial - preparação

Na preparação para a implementação do processo de recolha de variáveis foram tomadas várias ações com vista à simplificação e explicação do processo para todos os envolvidos:

Listagem e definição de variáveis:

Estando as múltiplas variáveis do *Best Day* definidas e dispostas pelos vários campos na plataforma em rede, não existia qualquer manual, definição ou tradução em português das mesmas. A primeira ação desenvolvida foi produzir e disponibilizar na rede da fábrica um documento com a listagem das variáveis e tradução respetiva em português. Aproveitou-se também o mesmo documento para aferir se as mesmas variáveis já eram recolhidas, onde eram registadas e, caso ainda não fossem registadas, se seria possível passar a realizar-se esse registo. A Figura 5.2 é um *print* desse mesmo documento.

Var (en)	Var(pt)	Unidades	Origem	Frequência	Obs.	Ações
FORNO						
Gross Pull	Tiragem bruta	tons	matrix/ficheiro indicadores forno	diário		
Density	Densidade vidro	g/cm ³	ficheiro indicadores forno	diário		
Color DWL	Comprimento de onda cor	nm	matrix	diário		
Boosting	ajuda elétrica	(kw)	matrix/ficheiro indicadores forno	diário		
Throat temperature	Temperatura na garganta	°C	matrix/ficheiro indicadores forno	diário		

Figura 5.2 - Ficheiro de listagem de variáveis

Recolha e feedback:

Foi realizada uma recolha não-oficial de alguns *Best Days* ocorridos para teste da plataforma e para *feedback* da equipa de Tecnologias da Informação (TI), identificando-se e corrigindo-se algumas gralhas. Uma parte do ficheiro de *feedback* pode ser visualizado na Figura 5.3.

Localização	Problema	Prioridade	Aberto/Fechado
IS Machines -> IS_Machine	Mold colling time: mal escrito (colling vs cooling)		Fechado
IS Machines -> Handling	Bottles per row on stacker bar: nº inteiro		Fechado

Figura 5.3 - Ficheiro de *feedback* das recolhas do *Best Day*

Com base nestas recolhas de teste e com um *benchmarking* realizado à fábrica de Villafranca de los Barros, que iniciou a recolha *Best Day* cerca de 7 semanas mais cedo, identificaram-se possíveis problemas futuros e fontes de desperdício de tempo que pudessem ocorrer no registo oficial, destacando-se:

- Falta de instrumentos/sensores para medir todas as variáveis pedidas;
- Tempo perdido a registar todos os valores de temperaturas e pressões para cada secção ou cavidade individualmente;
- Alta probabilidade de erros na medição (erro humano ou fiabilidade do instrumento de medição);
- Necessidade de recolha de todas as variáveis todos os dias, visto que só se sabe que ocorreu um *Best Day* no dia seguinte ao mesmo;

Assim, para cumprir com o pressuposto estabelecido inicialmente de não interferir com o funcionamento da fábrica, foram feitas algumas concessões e acordou-se o procedimento seguinte entre a equipa responsável pelo projeto e a fábrica:

- Deixar variáveis não-mensuráveis por preencher e resolver a situação aquando da instalação de sensores para medição e recolha automática.
- Recolher valores somente para três secções representativas: as duas das pontas e uma no meio da máquina.
- Realizar a recolha apenas no dia em que é declarado o *Best Day*, pressupondo-se assim que não tenha ocorrido uma variação significativa nos parâmetros de um dia para outro.
- Anexar *prints* com as variáveis ao registo, ao invés do realizar um registo manual individual de cada uma quando isso for vantajoso temporalmente.

Apresentação do projeto e esclarecimento de dúvidas:

Concluída a fase de preparação, foi feita uma apresentação-manual para os chefes de divisão e de serviço da fábrica onde se demonstraram o funcionamento e os objetivos da plataforma *Best Day* e se dividiram-se as responsabilidades de preenchimento, ficando cada chefe de divisão responsável pelas variáveis relacionadas com a sua área.

Esta apresentação marcou o início da recolha oficial de *Best Days* na fábrica de Avintes, que se definiu realizar apenas nas linhas do forno AV2.

5.1.2 Recolha e otimização

Como referido na secção 4.1, a fabricação é a principal área visada por este projeto, tendo a seu cargo a recolha da grande maioria de variáveis, muitas delas valores de temperatura e pressões, ou *timings* dos vários movimentos da máquina IS. Assim, acompanhou-se e tentou-se otimizar a recolha de variáveis dessa divisão. Definiu-se que a recolha seria feita pelo especialista geral de dia, sendo este acompanhado e contextualizado sobre o projeto.

Desde o início da recolha oficial foram registados 6 *Best Days*, por dois especialistas diferentes, com as respetivas recolhas sumariadas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Resumo do tempo de recolha do *Best Day*

Linha	Especialista	Tipo de registo	Tempo
L20	Simão	Novo	2h46min
L21	Simão	Novo	1h32min
L21	Simão	Novo	54min
L22	Simão	Novo	35min
L22	Simão	Cópia	21min
L22	Juca	Cópia	1h35min

Ações desenvolvidas:

Para reduzir o tempo de recolha foram criados dois ficheiros, que podem ser consultados no Anexo A:

- Criação de ficheiro Excel para recolha automática de variáveis, com a denominação e formatação especificada para o *Best Day* de variáveis que já sejam registadas regularmente em diferentes ficheiros ou que sejam constantes para as várias linhas.
- Criação de um *template* para registo manual dos valores.

Apesar de terem sido desenvolvidas as medidas descritas anteriormente, e aplicadas na segunda recolha, a principal causa de redução do tempo de recolha é a familiarização do especialista com a plataforma e com as variáveis a registar. Recomenda-se assim que seja sempre a mesma pessoa a realizar a recolha, para a obtenção de resultados ótimos.

5.1.3 Situação final e ações futuras

A recolha manual das várias variáveis apresenta vários problemas a nível de eficiência (tempo perdido) e de fiabilidade e representabilidade dos dados. Mesmo que seja realizada sempre nas mesmas condições e que o equipamento utilizado não apresente erros de medição (dois pressupostos já por si praticamente impossíveis de garantir), os valores podem não ser representativos o suficiente uma vez que são retirados num determinado instante, não representando a variação ao longo do período pretendido. Assim, a única forma de garantir uma representação fiável do processo é através da utilização de sensores automáticos que transmitam e registem os valores em tempo real, garantindo uma representação precisa e libertando simultaneamente os operadores para as suas outras funções e responsabilidades.

Existem sensores para algumas fases do processo, sendo utilizados para medir as temperaturas em vários pontos do forno e dos canais de condicionamento do vidro, com os dados disponíveis para consulta através do software de controlo da fábrica, mas existe ainda um número insuficiente no que diz respeito ao controlo de processo de moldação das garrafas em si.

Um dos principais objetivos do *Best Day History* é instalar estes sensores e *software* que permita a recolha automática e controlo dos mesmos para todas as variáveis definidas às quais estes sejam aplicáveis, tendo para esse efeito sido realizada uma análise à linha 21, na qual foram definidos e orçamentados todos os sensores e equipamentos necessários para o registo. A sua instalação encontra-se agora pendente da receção da encomenda e de disponibilidade da equipa de manutenção para os instalar.

No momento da escrita desta dissertação, o processo de recolha e registo das variáveis está implementado para o forno AV2, estando previsto o início de recolha das variáveis de processo para o forno AV5 para o mês de setembro. O registo para o forno AV4 deverá ser iniciado apenas após a realização de uma reparação ao forno que deve ocorrer no próximo ano, aproveitando-se a paragem para a instalação dos sensores de recolha automática. Os valores das variáveis nos melhores dias de produção foram recolhidos e registados, podendo ser consultados pelas várias fábricas do grupo e servir como ferramenta de auxílio à tomada de decisão.

A sua implementação não se traduziu em resultados significativos na eficiência da produção uma vez que não houve ainda repetição de referências em fabrico que permitissem utilizar os dados dos melhores dias já registados. É provável que o impacto da filosofia *Best Day* não seja muito significativo na fábrica de Avintes, que já é uma das melhores do grupo e possui um controlo do processo produtivo rigoroso, mas será sem dúvida uma ferramenta importante para as fábricas recentemente integradas no grupo.

5.2 Compilação de ficheiros de controlo

Para explorar as potencialidades do sistema de registo das variáveis e obter-se benefícios palpáveis do mesmo, foi realizada uma recolha de dados de controlo de vários indicadores disponíveis que permitissem a visualização imediata e utilização de dados para análise. *Prints* desses ficheiros encontram-se disponíveis no Anexo B. Nesta secção apresentam-se e enumeram-se as variáveis recolhidas, bem como algumas considerações sobre as mesmas.

5.2.1 Variáveis da fusão

As variáveis da fusão recolhidas e consideradas são apresentadas na Tabela 5.2:

Tabela 5.2 - Variáveis da fusão

<i>Variável</i>	<i>Descrição</i>	<i>Unidades</i>
Densidade vidro	Densidade do vidro	[g/cm ³]
% Casco	Percentagem do total de matéria prima composta por casco	%
Pedra	Cerâmicos presentes no vidro	[uni/kg]
Bolha	Bolha presente no vidro	[uni/kg]
Murça	Murça presente no vidro	[uni/g]
T° Garganta	Temperatura do vidro na garganta do forno	[°C]

Existe uma grande quantidade de variáveis disponíveis para controlo na fusão, como temperaturas, consumos energéticos e componentes da “receita”. Foram, no entanto, definidas apenas estas variáveis a considerar uma vez que se consideram suficientemente representativas da influência do processo de fusão na qualidade do vidro e na rejeição.

A percentagem de casco incluída é definida na receita da fusão e quanto mais elevada for, mais sujeita estará a mistura do vidro à presença de contaminantes devido a alguma ineficiência do processo de reciclagem. A densidade do vidro, pedra (pequenos pedaços de refractários ou infundidos da mistura da composição), bolha (bolhas grandes no vidro) e murça (pequenas bolhas no vidro) são medidas através de ensaios realizados às garrafas no fim da linha de produção: uma amostra é cortada e pesada, mede-se a densidade, e regista-se o número de ocorrências de cada defeito, extrapolando-se depois os valores dos defeitos para unidades por quilograma ou grama. Estes ensaios são realizados três vezes por dia, ou seja, uma vez por turno, e o valor é registado em ficheiros Excel.

A garganta é o ponto de contacto entre o forno e o *refiner*, e considera-se a temperatura do vidro neste ponto das mais importantes do processo de fusão. A temperatura é medida através de um termopar na parede lateral da garganta que transmite o valor para o *software* de controlo da fábrica (MCS). Inicialmente pretendia-se retirar o valor diretamente do *software* mas este apenas guarda os valores dos últimos nove meses, portanto consideraram-se os valores de registos de controlo efetuados pelo departamento da fusão em ficheiros Excel, mais sujeitos a erros e falhas mas ultimamente considerados fiáveis o suficiente. Recolheu-se a média diária e computou-se a percentagem de variação diária. A comparação entre os valores recolhidos e os obtidos no *software* para avaliar a fiabilidade dos registos encontra-se sumariada na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Temperatura do vidro na garganta e no fundo – registos vs. *software* (MCS)

	T Garg	F-BTM
Número casos	91	98
Média registos	1196.72	1211.55
Média MCS	1196.90	1211.67
Des. Padrão registos	5.5348	7.1519
Des. Padrão MCS	5.5846	7.1921
Amp. registos	26.66	30.67
Amp. MCS	26.34	30.13
Erro médio	0.687%	0.414%
Nº casos var > 5%	4	4
% casos c/ erro > 5%	4.396%	4.082%

5.2.2 Variáveis da fabricação

As variáveis da fabricação consideradas são apresentadas na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Variáveis da fabricação

<i>Variável</i>	<i>Descrição</i>	<i>Unidades</i>
F-BTM	Temperatura do vidro no fundo e no centro do final do canal	[°C]
Alt Tubo	Altura do tubo	[mm]
RPM tubo	Rotações por minuto do tubo	[rpm]
Altura Pilões	Altura dos pilões	[mm]
Curso Pilões	Curso dos pilões	[mm]
Tempo Prensagem médio	Tempo de movimento de prensagem	[s * 10 ²]
Pressão Prensagem média	Pressão do ar utilizado para animar o movimento de prensagem	[psia * 10 ²]
Média T° MP	Temperatura do Molde de Principiar	[°C]
Cadência	Número de garrafas a produzir por minuto por máquina de moldação	Unidades
Peso	Peso de cada garrafa a produzir	[kg]
KCR	Indicador que relaciona Peso com Cadência e número de cavidades	adim

Analogamente ao que foi feito para a temperatura na garganta no forno, considera-se a temperatura central do fundo no final do canal como a mais representativa e com maior probabilidade de influenciar a rejeição, visto que é a temperatura do vidro imediatamente antes de este entrar na bacia e ser iniciado o processo de moldação das embalagens. O resumo da comparação entre os dados registados e os valores do *software* encontra-se resumida também na Tabela 5.3.

Altura e RPM do tubo, tal como altura e curso dos pilões são parâmetros ajustáveis dos refratários que são registados em ficheiros uma vez por turno. tempo e pressão de prensagem são parâmetros de controlo da punção no processo de formação do *parison*, retirados por observação direta de um ciclo de produção na máquina uma vez por dia para cada cavidade. A temperatura do molde de principiar é retirada todos os turnos a cada cavidade individualmente com um termómetro de contacto. Para estes valores foram computadas e comparadas várias estatísticas: média, média por tipo de cavidade (A, B ou C), valor mínimo e máximo, amplitude e variação diária da média. É importante referir que estes dados estão sujeitos a inconsistências e ausências de registo, que é feito apenas quando não há situações mais urgentes a serem resolvidas, e a erros decorrentes da medição por operadores diferentes e de falhas com o equipamento. O tratamento destes dados passou maioritariamente por organizar e efetuar correções manuais nos ficheiros de registo originais, estimação de valores em falta através da média dos registos mais próximos (quando existentes) e exclusão de valores que não fizessem sentido.

Pretendia-se a inclusão de outras variáveis como as temperaturas de vários equipamentos de entrega, parâmetros de *timing* das máquinas e temperaturas das várias peças de moldagem, mas a ausência, inconsistência ou impossibilidade de registo dessas variáveis fez com que fossem desconsideradas para a análise.

A cadência, o peso e o KCR são exportados do sistema SAP da fábrica.

5.2.3 Variáveis de práticas de manutenção

As variáveis relacionadas com as práticas de manutenção estão expressas na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Variáveis de práticas de manutenção

<i>Variável</i>	<i>Descrição</i>	<i>Unidades</i>	<i>Categoria</i>
Dias em fabrico	Nº dias em que decorre o fabrico	[dias]	Geral
Vida Ring	Nº dias em máquina do Ring	[dias]	Refratários
Vida Pilões	Nº dias em máquina dos Pilões	[dias]	Refratários
Vida Tubo	Nº dias em máquina do Tubo	[dias]	Refratários
Dias med. cab vacuo	Nº dias em máquina cabeças de vácuo	[dias]	Partes máq. IS
Dias med. cartuchos	Nº dias em máquina dos cartuchos	[dias]	Partes máq. IS
Dias med. bracopb	Nº dias em máquina do braço porta-boquilhas	[dias]	Partes máq. IS
Cmolde nºdias/%util	Utilização dos contramoldes	[dias], %	Moldes
Boq nºdias/%util	Utilização das boquilhas	[dias], %	Moldes
MF nºdias/%util	Utilização dos moldes finais	[dias], %	Moldes

O objetivo da inclusão destas variáveis é medir o impacto de várias peças em máquina e aferir se existem melhorias possíveis às políticas de manutenção preventiva atuais.

Os refratários são contabilizados com base no registo dos dias em que ocorreram mudanças. Os valores referentes às partes de máquinas IS são calculados com base em dados exportados do *software* de controlo em que são registadas as datas das mudanças, sendo que o valor considerado é a média do número de dias em máquina de todos os setores da máquina. As variáveis associadas às cabeças de vácuo, cartuchos e braço porta-boquilhas foram utilizadas uma vez que são consideradas as mais influentes na produção de produtos defeituosos.

A utilização dos lotes de moldes foi incluída quer em dias quer em percentagem de utilização (nº de embalagens fabricadas até ao instante de tempo considerado/número esperado de embalagens) com os valores exportados do SAP para cada fabrico. No entanto, devido à quantidade de cálculos intermédios a realizar e ao facto de se ter de extrair os dados de cada lote de ferramenta individualmente, estes valores só foram recolhidos para fabricos da linha 21 com duração superior a 13 dias.

5.2.4 Variáveis de resposta

Ao longo de todas as linhas de produção, existe uma multiplicidade de sensores e contadores que contam unidades e transmitem os dados para um *software* de controlo, permitindo assim a visualização geral da linha de produção.

As MIL das linhas 21 e 22 são exatamente iguais e registam o número de unidades inspecionadas e o número de garrafas rejeitadas por cada tipo de defeito considerado na máquina. Existem várias máquinas por linha de modo a facilitar o escoamento da produção e prevenir a acumulação de garrafa na ZF em caso de avaria ou necessidade de intervenção nalguma das máquinas. As linhas 21 e 22 possuem 3 tipos de MIL:

- **SuperScan (SS):** Esta é a primeira máquina em que as garrafas passam após ser aplicado o TSF. É uma máquina de inspeção visual que fotografa e examina as garrafas em relação a defeitos na marisa e no fundo. Existem duas por linha.
- **SuperInspector (SI):** A segunda MIL das linhas, é uma máquina de inspeção visual que rejeita garrafas não-conformes em relação a características dimensionais (diâmetro, altura, verticalidade, por exemplo) e visuais (bolhas ou pedra por exemplo). Existem duas por linha.
- **M1:** Máquinas de inspeção rotativa, são as últimas a examinar as garrafas, testando-as com vários sensores e calibres para identificação de vários defeitos como estalados, dimensões da marisa, estanquicidade e espessura em vários pontos críticos. Os contadores desta máquina permitem a identificação do defeito em particular que levou à rejeição de garrafa.

Por vezes, quando certos critérios na inspeção de unidades produzidas são violados, um molde é colocado “a partir”, o que corresponde à rejeição nas SS e nas M1 de todas as garrafas produzidas por uma determinada cavidade. Esses critérios são definidos pela qualidade, exemplificando: ocorrência de defeito crítico, falhas em ensaios de laboratório, ocorrência sistemática do mesmo defeito na mesma cavidade, várias unidades consecutivas a apresentarem dimensões fora de limites de controlo.

As variáveis de resposta recolhidas encontram-se na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Variáveis de resposta e objetivo

<i>Variável</i>	<i>Descrição</i>	<i>Unidades</i>
% SS Fundo	% de garrafas rejeitadas pelas máquinas <i>SuperScan</i> por defeito no fundo	%
% SS Marisa	% de garrafas rejeitadas pelas máquinas <i>SuperScan</i> por defeito na marisa	%
% SS Molde	% de garrafas rejeitadas pelas máquinas <i>SuperScan</i> devido a rejeição de molde	%
% SI Dim	Nº dias em máquina do Tubo	%
% SI Visual	Nº dias em máquina cabeças de vácuo	%
% M1 Marisa	% de garrafas rejeitadas pelas máquinas M1 por defeito relacionados com a marisa	%
% M1 dist. Vidro	% de garrafas rejeitadas pelas máquinas M1 por falta de espessura de vidro	%
% M1 Molde	% de garrafas rejeitadas pelas máquinas M1 devido a rejeição de molde	%
Efi. Quente	Eficiência a quente da máquina	%
%MIL Rej.	% total de garrafas rejeitadas nas MIL	%
Rend. Teórico	Rendimento teórico de produção	%
Prod Liq Teo	Produção líquida teórica	Unidades

Estes dados foram obtidos através do tratamento dos dados brutos dos contadores das máquinas; A folha de cálculo resultante do seu tratamento pode ser visualizada no Anexo C.

O cálculo da percentagem de rejeição para um defeito qualquer é bastante intuitiva, sendo por exemplo para a rejeição por defeito no fundo da *SuperScan*:

$$ssfundo = \frac{N^{\circ} \text{ de unidades rejeitadas por defeito no fundo nas SS}}{N^{\circ} \text{ total de garrafas inspecionadas nas SS}} \quad (5.1)$$

Após uma breve análise das rejeições das M1 na linha 21 (Figura D.1 do Anexo D), decidiu-se reduzir as razões de rejeição das mesmas, agrupando-se todos os defeitos relacionados com a marisa na variável % M1 Marisa e os relacionados com a falta de espessura de vidro na variável % M1 dist. Vidro. As rejeições que não se encaixam em nenhum destes dois tipos ou na rejeição por molde foram desconsideradas uma vez que o seu peso total na rejeição é baixo.

A eficiência a quente é dada por:

$$eficiente = \frac{N^{\circ} \text{ gotas cortadas}}{N^{\circ} \text{ unidades que entram no tapete para o recozimento}} \quad (5.2)$$

O valor da % de rejeição total das MIL para um dia é dado pela equação seguinte:

$$milrej = \%rejss + \%rejsi \cdot \alpha_1 + \%rejm1 \cdot \alpha_2 \quad (5.3)$$

onde:

%rejss, %rejsi e %rejm1 são as percentagens de rejeição total das SS, SI e M1 respetivamente.

α_1, α_2 = fator corretivo SI e M1, respetivamente.

As SS são as primeiras máquinas a inspecionar as embalagens, daí que se considere o seu número total de inspecionados como a produção total que flui da zona quente. Para garantir que o indicador de rejeição das MIL representa o total da produção rejeitada, foram aplicados fatores corretivos às outras máquinas, que são simplesmente o total de garrafas inspecionadas pela máquina em questão dividido pelo total inspecionado pelas SS no dia em questão.

O rendimento teórico calcula-se da seguinte forma:

$$Rendimento \text{ Teórico} = eficiente - milrej \quad (5.4)$$

Apesar do rendimento teórico permitir uma boa representação do desempenho da zona quente na produção (não reflete perdas de produção além da arca de recozimento), nem sempre é o indicador mais fiável, visto que não considera a velocidade de produção. Uma linha pode ter um dia com um melhor resultado que outro mesmo que apresente um rendimento inferior, se estiver a produzir embalagens a uma velocidade superior. Tendo em conta esta consideração, computou-se e definiu-se como principal objetivo a Produção Líquida Teórica, que traduz o número de unidades conformes produzido pela zona quente. O seu cálculo é obtido da seguinte forma:

$$prodliqteo = Cadência \times 60 \times 24 \times Rendimento \text{ Teórico} \quad (5.5)$$

5.3 Análise geral de fabricos

Na tentativa de se identificarem relações causa-efeito significativas e de arranjar uma forma de modelar o desempenho esperado de um fabrico, foi realizada uma análise geral aos dados recolhidos, que se apresenta nesta secção.

5.3.1 Definição de objetivo e objeto de análise

Os valores das estatísticas resumo para as razões de rejeição contabilizadas estão-se representados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Estatísticas resumo das razões de rejeição

	Var.	Média	Mediana	Des. Padrão
L21	ssfundo	0,639%	0,560%	0,366%
	ssmar	0,418%	0,372%	0,196%
	ssmolde	0,237%	0,133%	0,363%
	sivis	1,194%	1,091%	0,577%
	sidim	0,246%	0,212%	0,139%
	m1mar	0,690%	0,663%	0,338%
	m1malh	0,245%	0,133%	0,392%
	m1molde	0,303%	0,161%	0,416%
	eficiente	95,507%	97,117%	5,629%
L22	ssfundo	0,524%	0,488%	0,235%
	ssmar	0,419%	0,369%	0,215%
	ssmolde	0,209%	0,118%	0,325%
	sivis	1,282%	1,110%	0,510%
	sidim	0,175%	0,142%	0,117%
	m1mar	0,927%	0,839%	0,464%
	m1malh	0,652%	0,435%	0,697%
	m1molde	0,256%	0,113%	0,499%
	eficiente	95,481%	97,184%	5,725%

Foi decidido focar o objetivo nas variáveis mais significativas e que *a priori* se associava maior probabilidade de estarem relacionadas com os indicadores de controlo recolhidos. Considerou-se então como objetivo a rejeição das SS pelo fundo (ssfundo), a rejeição das SI por visual (sivis), a rejeição das M1 por defeitos na marisa (m1mar) e a Eficiência a Quente (eficiente), repetindo-se a análise posteriormente para as variáveis restantes em caso de descoberta de relações significativas para as iniciais. A rejeição por molde foi desconsiderada: além de pouco significativa no geral, tem um carácter muito específico e variável, ocorrendo devido a fatores externos como avarias e defeitos na ferramenta. Os diagramas de causa-efeito para as variáveis de resposta consideradas, contextualizados em relação aos dados que foi possível recolher encontram-se nas Figura 5.4, 5.5, 5.6 e 5.7.

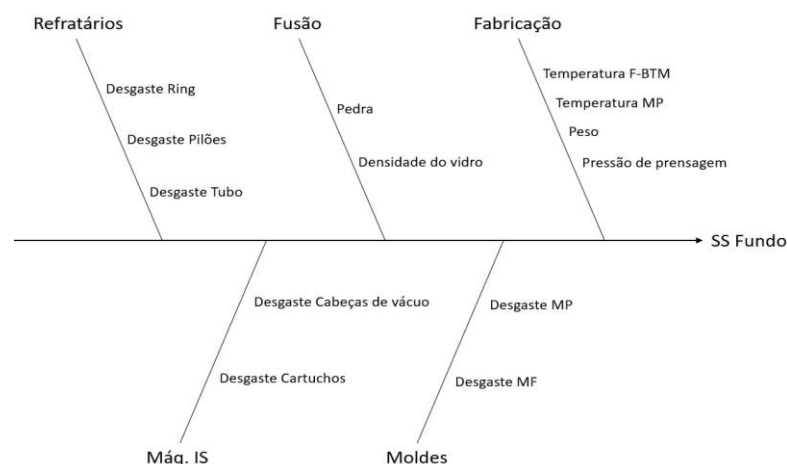


Figura 5.4 - Diagrama de Ishikawa para rejeição por SS Fundo

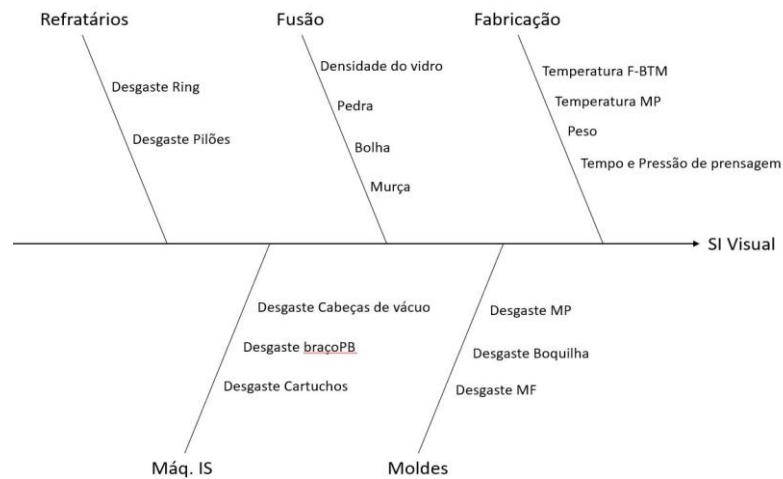


Figura 5.5 - Diagrama de Ishikawa para rejeição por SI Visual

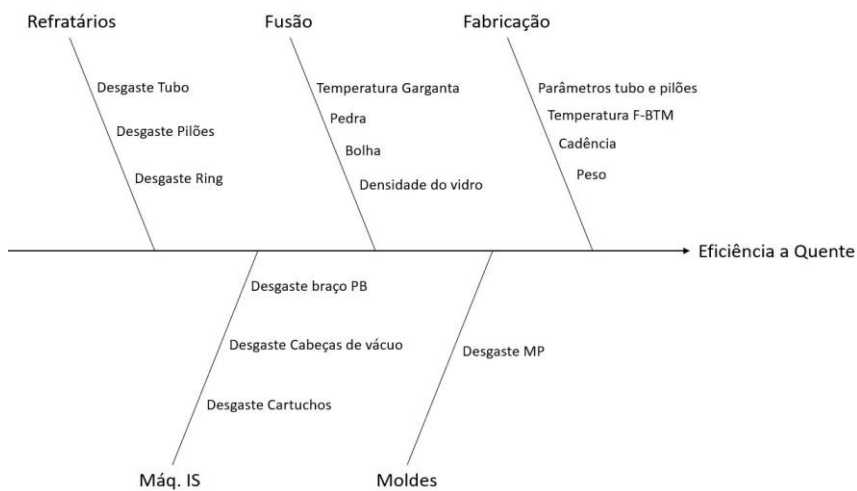


Figura 5.6 - Diagrama de Ishikawa para a eficiência a quente

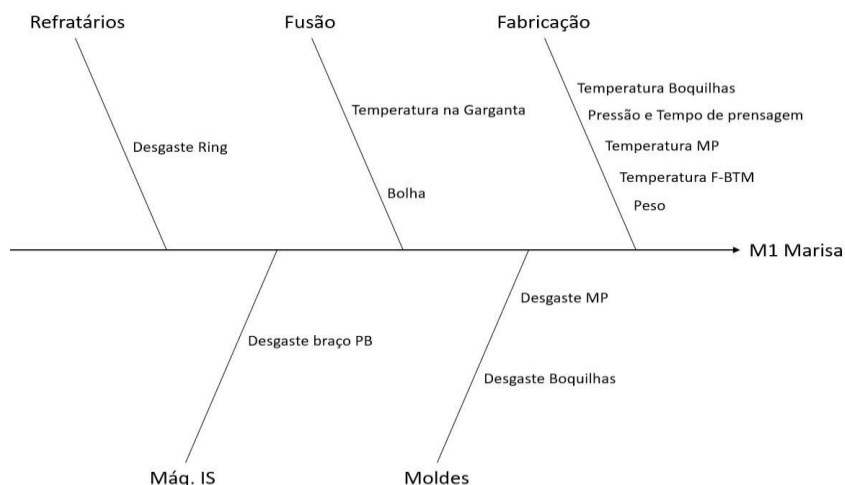


Figura 5.7 - Diagrama de Ishikawa para rejeição por M1 Marisa

A observação da evolução temporal das variáveis objetivo consideradas, no Anexo D, permite concluir que as suas distribuições estão relacionadas com os diferentes fabricos que as linhas efetuam, com diferentes referências a apresentarem diferentes padrões de rejeições e eficiência. De um modo geral, o mesmo tipo de diferença ocorre nas variáveis de *setup* e controlo: produtos diferentes requerem afinações de máquina diferentes. Decidiu-se então analisar a referência mais comum entre as duas linhas, 4088C002, para extrair conclusões

gerais e aferir a possibilidade de generalização. O número de dias em fabrico para cada referência para o período considerado pode ser consultado na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 - Dias em fabrico de cada referência

	Total	L21	L22
4088C002	373	214	159
1128C002	204	85	119
4288C002	92	29	63
4113C002	86	50	36
4135C002	45	9	36
Outras	142	84	58

5.3.2 Considerações iniciais

A referência 4088C002 esteve um total de 373 dias em fabrico no período considerado, divididos entre 7 fabricos diferentes (Tabela 5.9):

Tabela 5.9 - Fabricos da referência 4088C002

Fabrico	Linha	Início	Conclusão	Nº dias
1*	21	01/01/2017	06/03/2017	65
2	21	22/09/2017	13/11/2017	53
3	21	28/12/2017	19/02/2018	54
4*	21	06/03/2018	16/04/2018	42
5	22	07/03/2017	03/04/2017	28
6	22	21/04/2017	19/07/2017	90
7	22	18/08/2017	27/09/2017	41

* fabricos limitados pelo horizonte temporal em análise: a data indicada não é a verdadeira data do fabrico.

Por vezes, devido a limitações impostas pela capacidade do forno, secciona-se a máquina IS de uma linha, isto é, reduz-se o número de setores em produção. No caso desta referência, todos os fabricos são realizados com o número máximo de setores, 12, em produção.

Na observação da aglutinação das amostras por fabrico (Figura 5.8) é visível uma diferença considerável entre as duas linhas no que toca à produção, com a L21 a apresentar resultados superiores aos da L22. A variação na cadência de produção (Figura F.7 do Anexo F) explica uma parte considerável dessa diferença. De modo a ter uma maior probabilidade de isolamento de relações causa-efeito foi decidido comparar fabricos em condições o mais semelhante possível, comparando-se os fabricos 2/3/4 e 5/6/7, agrupados com base na cadência, na linha e no horizonte temporal.

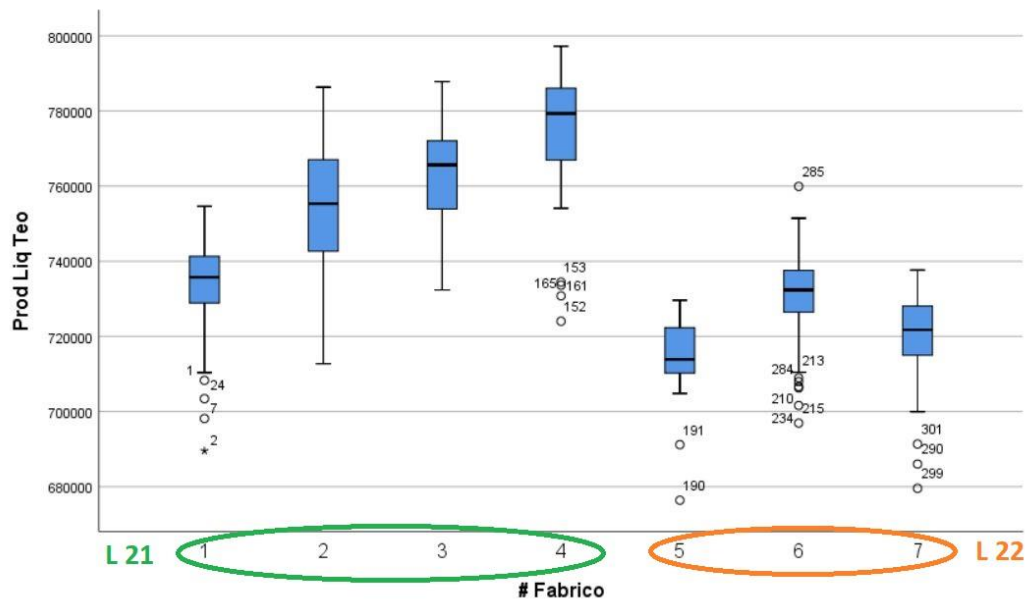


Figura 5.8 - *Boxplot* da Produção Líquida Teórica da referência 4088C002

Excluíram-se da análise as variáveis bolha, devido a dúvidas em relação à representabilidade dos registos, mínimos, máximos, amplitudes e variações diárias dos tempos de prensagem, pressões de prensagem e temperaturas de moldes de principiar, devido a dúvidas de fiabilidade dos registos e ausência excessiva de valores.

Excluíram-se as observações correspondentes a dias de mudança e dias com valores muito extremos para a Eficiência a Quente (inferiores a 92%) e para a Rejeição total das MIL (superiores a 8%), pressupondo a associação dessas observações extremas a fatores externos às variáveis de controlo consideradas, como avarias, problemas nos contadores.

5.3.3 Primeira análise comparativa - lançamento de hipóteses

Para que a análise faça sentido e tenha conclusões válidas, é necessário pressupor que as variações observadas nas rejeições advêm das diferenças nas variáveis de controlo do processo e que não existem diferenças significativas entre os limites de controlo e as afinações das MIL ao longo dos vários fabricos.

Através dos resultados do teste de Kruskal-Wallis (Figura 5.9), verifica-se que existem diferenças significativas ($p < 0,01$) entre os 3 fabricos para as distribuições das suas razões de rejeição, exceto para a rejeição por visual das SI.

	Test Statistics			
	% SS Fundo	% SI Visual	% M1 Marisa	Efi. Quente
Kruskal-Wallis H	35,422	3,943	77,403	16,925
df	2	2	2	2
Asymp. Sig.	,000	,139	,000	,000

Figura 5.9 - Resultados teste de Kruskal-Wallis para a comparação de fabricos 2/3/4 da referência 4088C002

Para estimar os intervalos de confiança para as diferenças entre as variáveis conforme o fabrico, utilizou-se o método pós-ANOVA de Games-Howell, visto que este é um dos mais robustos em relação à violação do pressuposto de variâncias homogêneas e tem um bom comportamento na presença de grupos de dimensões diferentes. Uma nota em relação à

temperatura dos moldes de principiar: pensa-se que o sensor do termómetro utilizado nas medições estava avariado e que tenha estado a transmitir resultados entre 10 a 15 °C superiores ao valor real durante o fabrico 4 portanto apenas se lançarão hipóteses se o intervalo de confiança para a diferença de médias não incluir valores entre 0 e 15°C. Na Figura 5.10 encontram-se resumidas as diferenças significativas que se repetem entre um fabrico e os outros dois, bem como o sentido dessa diferença: por exemplo, para o fabrico 2, a eficiência a quente foi significativamente menor quer em relação ao fabrico 4 quer em relação ao fabrico 3.

Variável	(2-4;2-3)	Variável	(3-4;3-2)	Variável	(4-3;4-2)
Ef. Quente	- -	% M1 Marisa	+ +	% SS Fundo	- -
% M1 Marisa	+ -	% Casco	+ +	% M1 Marisa	- -
% Casco	+ +	T° Garganta	+ +	% Casco	- -
Pedra	+ +	RPM tubo	+ -	T° Garganta	- +
T° Garganta	- -	Pressão Prens.	- -	F-BTM	+ +
RPM tubo	+ +	T° MP	- +	Pressão Prens.	+ +
Curso Pilões	- -	Vida tubo	- -	RPM tubo	- -
Pressão Prens.	- +	Vida pilões	+ -	T° MP	+ +
T° MP	- -	Dias cab. vácuo	- -	Vida Pilões	- -
Vida Ring	- -	% Util. MP	+ +	Dias bracoPB	+ +
Vida Pilões	+ +				
Dias cartuxos	- -				

Figura 5.10 - Diferenças significativas nas variáveis para os fabricos 2/3/4 da referência 4088C002

Da interpretação destes dados combinado com as considerações iniciais dos diagramas de causa-efeito, lançam-se várias hipóteses, categorizando-se em dois grupos diferentes:

Hipóteses fortemente suportadas:

- Relação pressão de pressagem – M1 Marisa:
 - H₀: A pressão de prensagem não influencia a rejeição por defeitos na marisa pelas M1.
 - H₁: Um valor mais elevado de pressão de prensagem leva a um menor valor da rejeição por defeitos na marisa pelas M1.
- Relação temperatura da garganta – M1 Marisa:
 - H₀: A temperatura da garganta não influencia a rejeição por defeitos na marisa pelas M1.
 - H₁: Existe um intervalo de trabalho ótimo para a temperatura da garganta que minimiza a rejeição por defeitos na marisa pelas M1.
- Relação utilização dos moldes de principiar – M1 Marisa:
 - H₀: A percentagem de utilização dos moldes não influencia a rejeição por defeitos na marisa pelas M1.
 - H₁: Uma percentagem de utilização dos moldes de principiar mais elevada leva a maior rejeição por defeitos na marisa pelas M1.

Hipóteses com pouca convicção:

- Relação F-BTM – M1 Marisa e SS Fundo:

- H_0 : A temperatura do fundo do canal e a rejeição por defeitos na marisa pelas M1 e por defeitos no Fundo pelas SS não estão relacionadas.
 - H_1 : Uma temperatura mais elevada no fundo do canal causa a diminuição de rejeição de produtos por defeitos na marisa pelas M1 e por defeitos no fundo pelas SS.
2. Relação pedra – eficiência a quente:
- H_0 : A pedra e a eficiência a quente não estão relacionadas.
 - H_1 : Um aumento de pedra leva a uma diminuição da eficiência a quente.
3. Relação temperatura da garganta – SS Fundo:
- H_0 : A temperatura da garganta não influencia a rejeição por defeitos no fundo pelas SS.
 - H_1 : Existe um intervalo de trabalho ótimo para a temperatura da garganta que minimiza a rejeição por defeitos no fundo pelas SS.
4. Relação % Casco – eficiência a quente:
- H_0 : A percentagem de casco não influencia a eficiência a quente.
 - H_1 : Uma maior percentagem de casco leva a uma menor eficiência a quente.
5. Relação RPM tubo – SS Fundo:
- H_0 : O número de RPM do tubo não influencia a rejeição por defeitos no fundo pelas SS.
 - H_1 : Um valor mais baixo do número de RPM do tubo minimiza a rejeição por defeitos no fundo pelas SS.

À exceção da utilização dos moldes de principiar, as diferenças significativas observadas na utilização de componentes não se traduzem em qualquer conclusão relativa à aplicação prática, concluindo-se que as diferenças nos indicadores de rejeição se devem a outros fatores. Se existirem relações significativas entre as variáveis de práticas de manutenção, estas serão notórias ao longo dos fabricos, esperando-se que a partir de determinado ponto da % de utilização ou de dias em máquina de determinado componente o número de defeitos causado pelo mesmo aumente exponencialmente. Aferiu-se a existência dessa relação através de gráficos de dispersão que se encontram no Anexo G.

De um modo geral, não parece que a relação entre a utilização dos componentes e os defeitos produzidos seja considerável, supondo-se apenas a existência de uma relação entre a utilização do *ring* e a rejeição das SS pelo fundo e das SI por visual. As respetivas correlações de Spearman dentro dos vários fabricos para esse efeito encontram-se expressas na Figura 5.11.

			Vida Ring		
Spearman's rho	Vida Ring	Correlation Coefficient	fab. 2	fab. 3	fab. 4
		Sig. (1-tailed)	-	-	-
		N	42	49	38
	% SS - Fundo	Correlation Coefficient	,171	,637**	,385**
		Sig. (1-tailed)	0,139	0,000	0,009
		N	42	49	38
	% SI Visual	Correlation Coefficient	,001	,745**	-,148
		Sig. (1-tailed)	0,499	0,000	0,188
		N	42	49	38

** . Correlação significativa ao nível 0.01 (unilateral)

Figura 5.11 - Correlação de Spearman *Ring* vs % SS - Fundo e % SI Visual (ref. 4088C002 fabricos 2/3/4)

Analisando os gráficos da Figura 3 do Anexo G, rejeita-se a hipótese de que a utilização dos moldes de principiar tem influência na produção de defeitos na marisa, se o fator fosse importante, a relação seria também notória com ao longo dos fabricos.

Uma vez que as distribuições das rejeições por visual das SI são semelhantes, uma comparação entre fabricos não faz sentido. Para proceder à análise deste indicador, procuraram-se correlações comuns significativas dentro dos três fabricos entre as variáveis de entrada e a rejeição por SI Visual. Essas correlações estão expressas na Figura 5.12, e coloca-se assim a seguinte hipótese:

6. H_0 : A rejeição por visual pelas SI não é influenciada pelo tempo e pela pressão de prensagem.
7. H_1 : Um valor mais elevado de tempo e pressão de prensagem leva a um aumento de rejeição por visual pelas SI.

			% SI Vis		
Spearman's rho	% SI Visual	Correlation Coefficient	fab. 2	fab. 3	fab. 4
		Sig. (1-tailed)	-	-	-
		N	42	49	38
	Tempo Prens.	Correlation Coefficient	,725**	,705**	0,121
		Sig. (1-tailed)	0,000	0,000	0,238
		N	25	43	37
	Press. Prens.	Correlation Coefficient	,748**	,528**	-0,129
		Sig. (1-tailed)	0,000	0,000	0,223
		N	25	43	37

** . Correlação significativa ao nível 0.01 (unilateral)

Figura 5.12 - Correlações de Spearman significativas com a variável % SI Vis (ref. 4088C002 fab. 2/3/4)

5.3.4 Segunda análise comparativa - validação de hipóteses

Se as hipóteses levantadas na análise dos fabricos 2/3/4 forem verdadeiras, é de esperar que o mesmo tipo de associação se manifeste quando se comparam também os fabricos 5, 6 e 7, possivelmente até com maior clareza, derivado da menor otimização revelada nos resultados da L22 para a referência em análise.

Comparando as hipóteses geradas na secção anterior com os resultados dos testes Mann-Whitney (Figuras 1 e 2 do Anexo H) para a diferença de localização nas variáveis de resposta, realiza-se novamente uma análise pós-ANOVA com o método de Games-Howell para estes fabricos, repetindo-se as combinações de variável entrada e resposta sumarizadas na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Diferenças significativas repetidas entre variáveis entrada e resposta

Resposta	Entrada	Fabricos	Sentido (Resp ; Ent)
SS Fundo	Tº Garganta	6-7	(- ; -)
SS Fundo	RPM do tubo	6-7	(- ; -)
M1 Marisa	Tº Garganta	5-6 ; 5-7	(- - ; - -)
M1 Marisa	Press. Prensagem	5-6 ; 5-7	(- - ; - -)
M1 Marisa	F-BTM	5-6 ; 5-7	(- - ; + +)

Apesar da repetição dos pares de diferença significativa M1 Marisa – Temperatura da garganta e M1 Marisa – Pressão de Prensagem, a direção da sua relação contradiz as hipóteses colocadas na análise anterior: enquanto que se supunha um intervalo de trabalho ideal para a Temperatura da garganta próximo dos 1190 °C (média do fabrico 4), aqui um fabrico com valores substancialmente mais baixos (1160 °C é o valor médio) obteve resultados melhores na variável M1 Marisa relativamente a fabricos mais próximos do valor supostamente ideal. O mesmo sucede com as pressões de prensagem que passam a ser inferiores quando o desempenho é superior. Tendo em conta esta discordância de resultados relativa às hipóteses mais fortemente suportadas, não existe confiança suficiente para extrair relações significativas de causa-efeito entre as variáveis.

A relação entre o ring e as rejeições por SS Fundo e SI Visual encontra-se retratada nos gráficos da Figura 5.13, não demonstrando qualquer relação assinalável, rejeitando-se a hipótese de que o seu tempo em máquina influencia a produção de unidades defeituosas.

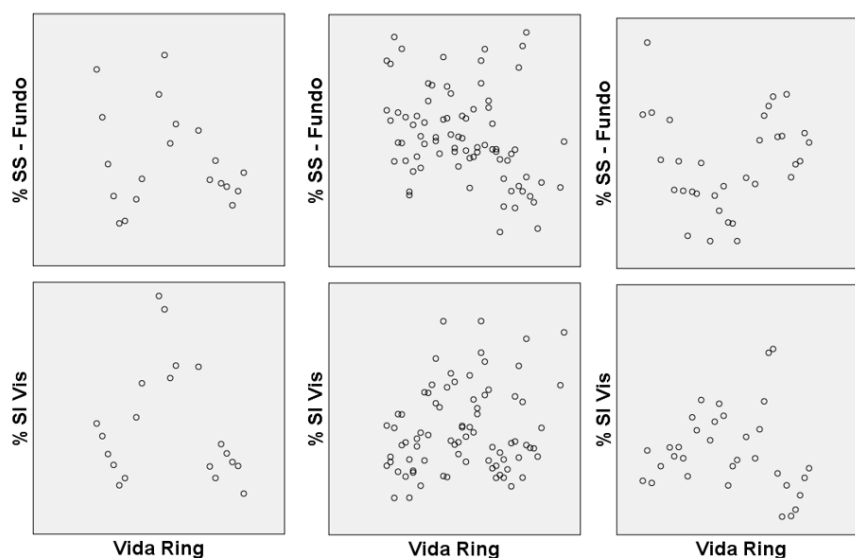


Figura 5.13 - Gráfico de dispersão Vida Ring vs. SS Fundo e SI Visual (da esquerda para a direita, fab. 5, 6 e 7)

Apenas existe uma correlação (Figura 5.14) significativa ($p < 0,01$) a repetir-se entre os fabricos, para as variáveis pedra - % SI Visual, nos fabricos 6 e 7.

			% SI Vis		
Spearman's rho	% SI Visual	Correlation Coefficient	fab. 5 1,000	fab. 6 1,000	fab. 7 1,000
		Sig. (1-tailed)	-	-	-
		N	20	79	33
	pedra.	Correlation Coefficient	,366	,460**	,496**
		Sig. (1-tailed)	0,000	0,000	0,238
		N	20	79	33

** . Correlação significativa ao nível 0.01 (bilateral)

Figura 5.14 - Correlações de Spearman significativas com a variável % SI Visual (ref. 4088C002 fab. 5/6/7)

Devido à pouca consistência nos resultados obtidos, considerou-se prudente não rejeitar nenhuma hipótese nula. Apesar da ausência de resultados práticos em relação ao esperado, é importante tirar elações e encontrar justificações para que não se cometam os mesmos erros noutras análises. O insucesso desta abordagem pode dever-se a:

- Complexidade do processo produtivo, pois muitas variáveis em simultâneo mascaram os efeitos umas das outras nos resultados;
- Diferenças significativas na afinação e nos limites de controlo das MIL;
- Baixa fiabilidade e representabilidade de alguns dos indicadores recolhidos;
- Falta de representação de partes influentes do processo produtivo nas variáveis recolhidas;
- Aglutinação de razões de rejeição, por exemplo, pedra e risco na garrafa são ambos rejeitados por SI Visual apesar de terem causas diferentes;
- Grau de otimização muito elevado na zona quente;
- Atuação imediata sobre defeitos leva a que não se manifestem muito nos resultados diários;
- Análise de dados médios de toda máquina ao invés de secção a secção leva a que umas disfarcem os impactos das outras;
- Número de amostras por fabrico insuficiente;

5.3.5 Modelo preditivo

Tendo em conta a falta de resultados obtidos na análise anterior e a falta de existência de relações lineares diretas entre as variáveis consideradas, procurou-se extrair informação através da análise das amostras com um método mais sofisticado que também considerasse relações não-lineares, recorrendo-se a um MLP com uma camada oculta para gerar um modelo preditivo da Produção Líquida Teórica da referência 4088C002 (o seu diagrama representativo encontra-se no Anexo J). Caso o modelo tenha uma boa performance preditiva, este pode também vir a ser uma ferramenta útil de tomada de decisão por si mesmo.

Ao todo são consideradas 270 amostras, excluindo-se as que contém *missing values* nas variáveis de entrada, sendo estas normalizadas antes de entrarem no modelo. As proporções teste-treino utilizadas foram 70-30, e as funções de ativação selecionadas foram a tangente hiperbólica e a função identidade para as camadas oculta e identidade, respetivamente.

Para avaliar a qualidade do modelo gerado, normalizaram-se (calculando o Z-score, equação 5.6) os resultados reais e os resultados previstos pelo modelo em função de cada fabrico,

representando-se assim o erro de previsão pela diferença entre os resultados normalizados. O resultado é visível na Figura 4.10.

$$Z_{j,i} = \frac{x_{j,i} - \mu_j}{\sigma_j} \quad (5.6)$$

onde:

μ é a media da Prod Líq Teórica fabrico j

σ é o desvio padrão da Prod Líq Teórica durante o fabrico j

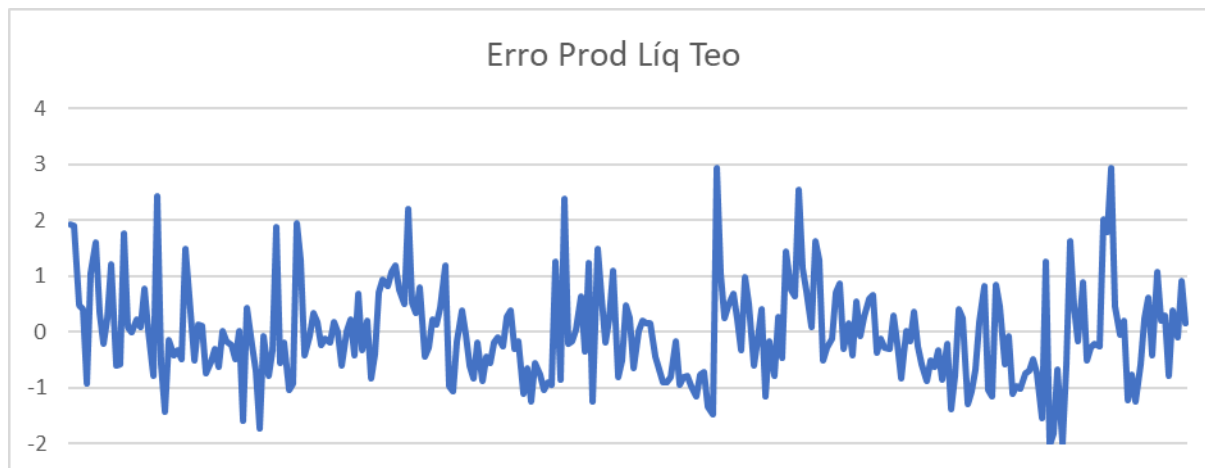


Figura 5.15 - Gráfico de avaliação de performance de modelo preditivo

O valor médio do erro absoluto é de aproximadamente 0,677, com um desvio padrão de aproximadamente 0,545. Estes são resultados promissores, que fazem crer que um MLP consegue prever com um erro relativamente baixo os resultados do processo produtivo de embalagens de vidro dadas as várias variáveis de *input*. É de referir que, de grosso modo, uma unidade no desvio padrão corresponde a cerca de 1,8 pontos percentuais no rendimento teórico. A utilização deste MLP para previsão de resultados deve ser feita com alguma cautela, dadas as limitações dos dados utilizados para o treinar, referidas na secção anterior.

A análise dos gráficos da influência relativa das variáveis (Anexo J) acaba por gerar resultados interessantes, evidenciando relações que se sabem à partida que existem: A cadência tem grande influência na Produção Líquida Teórica; a pedra é a variável mais influente na rejeição por SI Visual (faz sentido uma vez que é precisamente um dos motivos que faz com que a SI rejeite por defeito Visual).

Os resultados mostram também uma elevada influência do desgaste do *ring* em praticamente todas as razões de rejeição, sugerindo uma análise mais profunda ao seu impacto no processo produtivo. De um modo geral, pode considerar-se que esta análise apresenta perspetivas animadoras quanto à possibilidade de modelação do processo produtivo através de técnicas de *Machine Learning*. Quando forem instalados os sensores automáticos para as variáveis definidas como importantes para o *Best Day*, resolvendo-se as limitações associadas com os dados utilizados nesta análise, a aplicação de vários métodos de *Machine Learning* deverá evidenciar relações interessantes entre variáveis.

5.4 Influência da cor na rejeição

Inicialmente não considerada uma variável importante ou com influência considerável na rejeição, a verdade é que a cor do vidro está diretamente relacionada com a composição do

mesmo, podendo essa diferença na composição causar reações químicas que levem a uma maior propensão para aparição de alguns defeitos. A cor do vidro é acordada previamente com os clientes, existindo especificações que limitam a sua variabilidade por parte da fábrica. Esta análise visa confirmar algumas suposições existentes de que uma cor de garrafa mais clara leva a uma maior frequência de ocorrência de estalados na zona da marisa e de defeitos visuais, particularmente na cor âmbar (forno AV2).

5.4.1 Variável representativa da cor

Para medir e quantificar a cor, são retiradas duas amostras da linha com maior tiragem de cada forno (para garantir bases de comparação o mais similares possível) e cortam-se as garrafas em pequenas amostras. Mede-se a espessura de cada amostra e introduz-se a mesma num espectrofotómetro que com base na espessura e em padrões pré-estabelecidos para cada cor transmite automaticamente uma série de *outputs*. No caso da cor âmbar, o *output* considerado é o valor da transmitância para um comprimento de onda de 550nm, sendo o valor utilizado para controlo a média das duas amostras medidas, que já por si são extremamente semelhantes. Quanto maior for o valor obtido, mais claro é o vidro. Este é considerado um método de medição bastante fiável.

Este ensaio é normalmente feito de 4 em 4 horas, sendo por vezes aumentada a sua frequência conforme crises ou campanhas de mudança de cor.

5.4.2 Considerações e pressupostos

Minimizam-se alguns problemas identificados com a análise anterior: alterações na receita que causa as diferenças de cor só são visíveis no produto final entre 12 a 16 horas mais tarde, o seu valor é comum a todo forno, sendo o seu impacto semelhante para todas as cavidades, utilizam-se indicadores de rejeição mais específicos e a dimensão da amostra aumenta consideravelmente.

A análise foi realizada para as linhas L21 e L22 separadamente, validando-se o efeito da cor na rejeição se a mesma relação ocorrer de forma semelhante para ambas as linhas. Os indicadores considerados para análise são:

- T550/G: Valor da cor nas garrafas
- % SI Visual
- % M1 – 200 Estalado/sedas no topo
- % M1 – 202 Estalado/sedas na marisa
- % M1 – 204 Cortado na coroa (um cortado é um estalado com direção horizontal)

Cada observação corresponde a um intervalo de 4 horas:]23h , 03h];]03h , 07h];]07h , 11h];]11h , 15h];]15h , 19h];]19h , 23h]; sendo o valor do T550/G a média da medição do primeiro e do segundo limitador do intervalo ou a medição do meio do intervalo, quando este valor estiver disponível. No caso dos valores das rejeições, os indicadores correspondem à percentagem do número total de garrafas rejeitadas pelo defeito em relação ao total de garrafas que entraram no tipo de máquina em questão, no intervalo de tempo considerado.

Utilizam-se os valores desde 01/01/2018 até 16/04/2018, eliminando-se as observações de dias em que ocorreram mudanças de fabricos e observações com valores de rejeição muito elevados, que provavelmente não estarão relacionados com alterações na cor.

Coloca-se então o seguinte teste de hipótese:

- H_0 : A cor não influencia as causas de rejeição analisadas.
- H_1 : Uma cor mais clara resulta no aumento das causas de rejeição analisadas.

5.4.3 Procedimentos e resultados:

Para ser possível a comparação entre fabricos diferentes e lidar com os diferentes padrões de rejeição para cada fabrico e com a mudança de cor (o AV2 produziu âmbar escuro entre 19/02 e 05/03, ao invés do âmbar normal), calculou-se o Z-score (equação 4.5) e retiraram-se as observações com qualquer Z-score superior a 4 unidades (4 desvios-padrão acima da média do fabrico).

Os valores da correlação de Spearman entre a cor e os diferentes motivos de rejeição considerados podem ser observados na Figura 5.16.

		L21 – Z T550/G	L22 – Z T550/G
Spearman's rho	Z T550/G	Correlation Coefficient	1,000
		Sig. (1-tailed)	.
		N	597
	Z SI Visual	Correlation Coefficient	,175**
		Sig. (1-tailed)	,000
		N	597
	Z Seda no topo	Correlation Coefficient	,304**
		Sig. (1-tailed)	,000
		N	597
	Z Seda na marisa	Correlation Coefficient	,357**
		Sig. (1-tailed)	,000
		N	597
	Z Cortado coroa	Correlation Coefficient	,048
		Sig. (1-tailed)	,118
		N	597

** . Correlação significativa ao nível 0.01 (unilateral)

Figura 5.16 - Correlações de Spearman cor vs. rejeição

Existem relações de associação estatisticamente significativas ($p < 0,01$) entre o T550/G e as variáveis de resposta consideradas, exceto para a rejeição por cortados na coroa. Na Figura 5.17 apresentam-se os gráficos de dispersão para as variáveis que registam um grau de associação significativo.

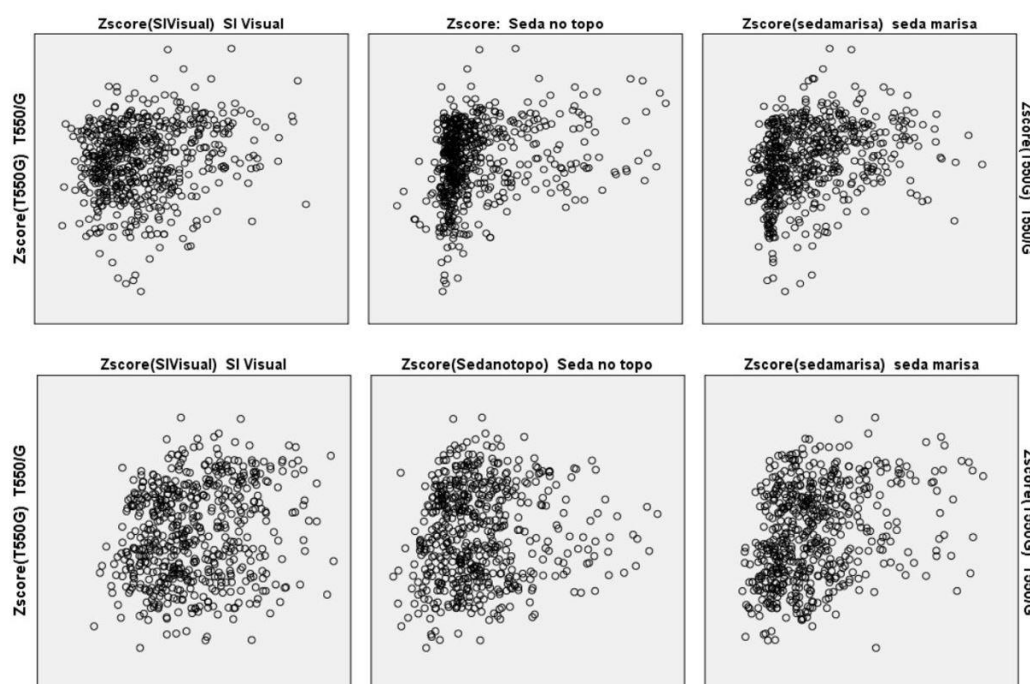


Figura 5.17 - Gráfico de dispersão cor vs rejeição (L21 em cima, L22 em baixo)

A maior dispersão nos gráficos da L22 explica-se com a maior instabilidade (maior número de fabricos) e a taxas de rejeição geralmente mais elevadas (Anexo K), acabando por ter mais fatores a mascarar o efeito da cor.

5.5 Apresentação de resultados

As conclusões práticas retiradas da análise à referência 4088C002 são as seguintes:

- A L21 está mais otimizada para a referência do que a L22;
- O tipo de rejeição mais variável entre os vários fabricos é a rejeição pelas M1 devido a defeitos na marisa;
- As variáveis com maior variação entre fabricos são a Pressão de prensagem e a Temperatura na Garganta;
- Não há evidência significativa que permita concluir que existem melhores práticas de manutenção a aplicar;
- Assim que seja possível obter dados melhores, a aplicação de métodos de *Machine Learning* para a previsão de resultados e motivos de rejeição deverá evidenciar algumas relações interessantes entre variáveis;

Em relação à análise da influência da cor na rejeição, extraem-se as seguintes conclusões:

- De um modo geral, vidro com uma cor mais clara leva ao aumento da rejeição pelas causas consideradas, exceto para cortados na coroa.
- Recomenda-se que se tentem baixar as especificações da cor e que manter o mais próximo do limite inferior especificado possível.
- Recomenda-se a consideração das variáveis do *Best Day* representativas da cor como variáveis de Tipo 2.

6 Conclusões e perspectivas de trabalhos futuros

O principal objetivo deste projeto foi a implementação da filosofia *Best Day* na fábrica da BA de Avintes e a descoberta de relações causa-efeito entre variáveis do processo e resultados através da análise sobre variáveis do processo.

A recolha e registo das variáveis do *Best Day* foi implementada para um dos fornos da fábrica de Avintes, existindo já um total de 6 registos na plataforma, de 4 referências diferentes, que podem ser consultados e utilizados como referência para as variáveis do processo. É ainda demasiado cedo para quantificar os benefícios que esse registo traduz na melhoria do processo de *setup* de máquinas.

A implementação da filosofia *Best Day* deve forçosamente ser acompanhada de um aumento do esforço na recolha automática e controlo digital das variáveis do processo. O verdadeiro benefício deste registo e consequente base de dados apenas poderá ser colhido e avaliado após a instalação de sensores de medição digitais e de garantir o seu exportamento de dados. A filosofia *Best Day* apenas se poderá considerar verdadeiramente implementada quando for possível garantir que os registos são fiáveis, a recolha é feita de forma eficiente e os dados são realmente representativos do processo.

A elevada complexidade do processo produtivo do vidro de embalagem aliada às limitações dos dados utilizados dificulta a identificação de relações de associação entre as variáveis com base nos dados atualmente existentes. A construção dos *data sets* para análise foi um processo moroso e as possibilidades de análise foram reduzidas devido a dificuldades na manipulação desses mesmos dados. Encontrou-se um grau de associação da cor do vidro com algumas das razões de rejeição, que se deverá traduzir num impacto positivo, ainda que pequeno, na eficiência da produção. Os resultados da aplicação de MLP são bastante promissores, apesar de para já ainda não apresentarem grande utilidade prática no dia a dia da fábrica.

No seu estado atual, a filosofia *Best Day* apresenta-se essencialmente como uma ferramenta de melhoria importante para as fábricas integradas recentemente no grupo, que levará a uma maior normalização de processos e registos bem como a melhorias no processo de *setup* de máquina e no controlo do processo produtivo.

O trabalho a desenvolver num futuro próximo passa pela automatização do processo de medição e extração de variáveis numa linha de produção, e posterior alargamento para todas as restantes linhas. Essa automatização deverá permitir maior confiança na tomada de decisões com base em dados concretos, a identificação mais rápida de anormalidades e irá libertar muito tempo para que os operadores se foquem em encontrar causas-raíz para esses mesmos problemas. A visibilidade geral dos processos será muito maior, não apenas para pessoas internas à fábrica, mas também entre as várias fábricas e a administração do grupo.

Da mesma forma, existem razões para acreditar que assim que este tipo de dados esteja disponível, a aplicação de técnicas de *data mining* nas várias fases do processo produtivo trará um impacto considerável na eficiência da produção e dos processos de funcionamento da fábrica.

Referências

- Almada-Lobo, Bernardo Sobrinho Simões de. 2007. "Lotsizing and Scheduling in the Glass Container Industry", FEUP.
- Alpaydin, Ethem. 2010. *Introduction to Machine Learning*. 2nd ed.: MIT Press.
- Alves, Jorge Fernandes. 2012. *BA - Marca com história no vidro de embalagem*.
- Alvi, Saad Bashir, Robert Martin e Johannes Gottschling. 2017. "Efficient Use of Hybrid Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System Combined with Nonlinear Dimension Reduction Method in Production Processes". *Computer Science & Information Technology (CS & IT)* no. 7:29-43.
- BA Glass. 2018a. *BA Financial Statement 2017*. http://www.drufba.bg/gestor/downloads/download.php?file=BA_RC2017_EN.pdf.
- . 2018b. "Plants - BA Glass". Acedido a 28/04/2018. <http://www.baglass.com/en/fabricas.php>.
- Bourhis, E.L. 2008. *Glass: Mechanics and Technology*. Wiley.
- Cable, Michael. 1999. "Mechanization of Glass Manufacture". *Journal of the American Ceramic Society* no. 82 (5):1093-1112. Acedido a 26/05/2018. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1151-2916.1999.tb01883.x>.
- Campos, Rui Manuel e José Sarsfield Cabral. 2011. *Estatística*. 2ª Edição ed.
- Chen, H. e R. Taylor. 2009. "Exploring the impact of lean management on innovation capability". Comunicação apresentada em PICMET '09 - 2009 Portland International Conference on Management of Engineering & Technology. 2-6 Aug. 2009.
- Costa, H. R. d. N. e A. La Neve. 2016. "A study on the application of regression trees and adaptive neuro-fuzzy inference system in glass manufacturing process for packaging". Comunicação apresentada em 2016 Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society (NAFIPS). Oct. 31 2016-Nov. 4 2016.
- Eustice, D. 2008. The Future of Glass Forming Technology for the Manufacture of Lightweight Containers. <http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Forming%20Technology%20Review%20FINAL.pdf>.
- FEVE. 2017. Glass Packaging Demand Growth: The Market Trusts Glass. <http://feve.org/wp-content/uploads/2017/08/Production-Year-2016-Press-Release-FINAL-.pdf>.
- Field, Andy. 2005. *Discovering statistics using SPSS*. 2nd edition ed. London: Sage Publications.
- GAE. 2018. "Industries". Acedido a 17/05/2018. <https://www.glassallianceeurope.eu/en/industries>.
- Hair, Joseph, Ronald Tatham, Rolph Anderson e William Black. 1998. *Multivariate Data Analysis (5th Edition)*. Prentice Hall.
- Hu, Wenke, William G Slusser e Gary Smay. 2016. "FEA pergormance comparisons of NNPB and BB refillable bottles". *Glass Worldwide* (68).
- Hu, Wenke, William Slusser, Peter de Haan e Gary Smay. 2015. "Using NNPB forming technology for refillable beer bottles". *Glass Worldwide* no. 60.

- Hubert, Mathieu. 2015. "Basics of industrial glass melting furnaces". Acedido a 27/05/2018. https://www.lehigh.edu/imi/teched/GlassProcess/Lectures/Lecture03_Hubert_industglasmeltfurnaces.pdf.
- Illikainen, Markus. 2017. "Cross-Country Standardization of operational procurement process", Faculty of Technology, University of Oulu.
- Kowalski, Charles J. 1972. "On the Effects of Non-Normality on the Distribution of the Sample Product-Moment Correlation Coefficient". *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)* no. 21 (1):1-12. <http://www.jstor.org/stable/2346598>.
- Martins, Bruno Miguel Rodrigues. 2017. "Decision Support System in the Design, Production and Quality Control of Glass Containers", Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Porto.
- Montgomery, D.C. 2008. *Introduction to Statistical Quality Control*. Wiley.
- Romero, Heidi L., Remco M. Dijkman, Paul W. P. J. Grefen e Arjan J. van Weele. 2015. "Factors that Determine the Extent of Business Process Standardization and the Subsequent Effect on Business Performance". *Business & Information Systems Engineering* no. 57 (4):261-270. <https://doi.org/10.1007/s12599-015-0386-0>.
- Sanches, H.V. 2015. "Aplicação da Metodologia SMED na Indústria Vidreira", Universidade do Porto.
- Shingo, S. 1985. *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Taylor & Francis.
- Stapenhurst, Tim. 2013. *Mastering Statistical Process Control*. Editado por Elsevier.
- Vazan, P., D. Janikova, P. Tanuska, M. Kebisek e Z. Cervenanska. 2017. "Using data mining methods for manufacturing process control". *IFAC-PapersOnLine* no. 50 (1):6178-6183. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S240589631731460X>.

ANEXO A Ficheiros de auxílio a recolha das variáveis do Best Day

Processo	NN						
Blanks	48	Plungers	48	Neck-rings	48	Molds	120
Blow Heads	120	Troughs	560	Deflectors	960	Neck-ring	2880
Cartridge	2880	Baffle	48				

Figura A.1 - Ficheiro de recolha automática - mudança programada.

Dia	01/06/2018
------------	-------------------

Spout type	<i>Ver folha Refrac</i>	Spout life	444
Tube type	4470776	Tube life	219
Plunger type	501-5679/501-5582	Plunger life	66
Ring size	1 5/8"	Ring working days	11

Figura A.2 - Exemplo de recolha automática de refratários.

**Best Day**

Referência:

Dia:

Linha:

Cooling Wind

Main Cool. Wind. Pr.		Comp. Setup slope		Cooling air T sp.		Blank Cool. Pr.	
Blank air T		Mold Cool. Pr.		Mold air T		Deadplate H. Pr.	
Deadplate L. Pr.		Conv. Cool. Pr.		Ext. Cool. Pr.			

Compressed air

High Pressure air		Low pressure air		Pilot air		Final blow	
Finish Cooling		Vacuum		Plunger cool/cb		Baffle cool/comp	
Blank Closing		Mold closing		Invert air		Plunger UP manif	

Refractories/feeder

Spout type		Spout life		Tube type		Tube life:	
Tube rotation direct		tube rot. Speed		Tube height		Tube cool. Pr.	
Plunger/needl. Type		Plunger/need. Life		Plunger Cam		Plunger stroke	
Plunger height		Orifice ring type		Ring size		Ring work. days	
Differential							

Shearing

Shear mech. Type		Shear cam		Shear blade type		Gd tube water T	
Gd tube water F		Gd tube air Pr		Gd tube oil sup		spray water const	
Shear spray water Pr.		Shear spray air Pr.		Shear spray oil ratio		Shear spray oil tp	
Air assist shear mech.		Shear height		Start point		Center	
Motion time		Overlap					

Delivery Equip.

Scoop tp		Scoop T		Scoop water T A		Scoop water T B	
Scoop water flow A		Scoop water flow B		Scoop spray tp		Scoop spray freq.	
Troughs type		Troughs T		Troughs air pr.			
Deflectors T		Deflector coating tp					

Swabbing

Blanks freq.		Blank lub.		Blank Swab	
Neck-rings freq.		Neck-ring lub.		Neck-ring Swab	
Bottom plate freq.		Bottom plate lub.		Bottom plate Swab	
Mold freq.		Mold swab lub.		Mold Swab	
Baffle freq.		Baffle lub.		Baffle swab	

Figura A.3 - Pág. 1 do template de recolha manual

ANEXO B Ficheiro de controlo

Data	Referência	Dias em fabrico	Densidade vidro	% Casco	Bolha	Pedra	Murça	Cadência	Peso	KCR	Tº Garganta	Var T garg (dia)	F-BTM AVG	Var F-BTM (dia)	Alt Tubo	RPM tubo	Altura Pilões	Curso Pilões	Vida Ring	Vida Pilões	Vida Tubo
01/01/2018	1128C002	12	2.5015	0.6547	0.0000	4.5516	0.0433	500.00	0.156	189.248	1204.96	0.205%	1212.89	-0.174%	11.14	3.25	15.00	9.00	12	74	216
02/01/2018	1128C002	13	2.5022	0.6547	0.0000	25.0155	0.0433	501.00	0.156	189.623	1204.81	-0.013%	1213.48	0.049%	11.06	3.00	17.00	9.00	13	75	217
03/01/2018	1128C002	14	2.5013	0.6547	0.0000	5.2449	0.1033	501.00	0.156	189.623	1199.36	-0.452%	1215.50	0.167%	10.21	3.00	17.00	9.00	14	76	218
04/01/2018	1128C002	15	2.5005	0.6547	0.0000	10.8704	0.0667	501.00	0.156	189.623	1196.97	-0.200%	1216.21	0.059%	9.36	3.00	17.00	9.00	15	77	219
05/01/2018	1128C002	16	2.5003	0.6547	0.0000	20.9743	0.0733	501.00	0.156	189.623	1188.31	-0.723%	1215.30	-0.075%	8.91	3.00	17.00	9.00	16	78	220

Tempos Prensagem A	Tempos Prensagem B	Tempos Prensagem C	Tempo Prensagem Médio	Var Tempo Prens	T min	Prens Max	T prens	Amp. Prens.	T Prens. A	Pressão Prens B	Pressão Prens C	Pressão Prensagem Média	Var Press Prens	Temp MF	Temp MP A	Temp MP B	Temp MP C	Média Temp MP	Var Temp MP (dia)	Média Temp.	Amp. Temp.	Cmolde nº dias	Cmolde %util	Boq dia	nº Boq	%util
				#DIV/0!									#DIV/0!		468.18	478.55	472.45	473.06	0.3794%	54.00	13	23.06%	13	30.44%		
34.82	33.80	32.73	33.78	#DIV/0!	29	40	11.00	50.27	46.27	48.00	48.18	#DIV/0!	553.73	465.68	476.41	466.45	469.52	-0.7495%	59.00	14	24.88%	14	32.84%			
34.09	33.70	32.45	33.42	-1.0854%	29	38	9.00	49.82	44.82	46.27	46.97	-2.5157%		455.18	465.82	458.64	459.88	-2.0524%	43.00	15	26.70%	15	35.25%			
				-100.00%								-100.00%		457.82	464.14	455.09	459.02	-0.1878%	41.00	16	28.52%	16	37.65%			
				#DIV/0!								#DIV/0!	547.91	448.68	455.82	450.05	451.52	-1.6339%	42.00	17	30.35%	17	40.06%			

MF nºdias	MF %util	dias med cab vacuo	dias med cartuxos	dias med bracopb	%MIL Rej	% SS - Fundo	% SS - Marisa	%SS – Molde	% SI Vis	% SI Dim	% M1 Marisa	% M1 dist. Vidro	% M1 Molde	Efi. Quente	Rend Teorico	Prod. Líq Teo
13	12.18%	59.25	79.17	51.33	3.50%	0.161%	0.169%	0.177%	1.640%	0.151%	0.690%	0.439%	0.066%	98.265%	94.77%	739195
14	13.14%	60.25	80.17	52.33	5.17%	0.269%	0.215%	0.069%	2.533%	0.395%	0.859%	0.779%	0.136%	97.257%	92.08%	719698
15	14.10%	61.25	81.17	53.33	3.96%	0.249%	0.195%	0.096%	1.958%	0.390%	0.584%	0.430%	0.026%	97.801%	93.84%	733403
16	15.06%	62.25	82.17	53.25	3.42%	0.138%	0.233%	0.376%	1.425%	0.192%	0.604%	0.329%	0.112%	98.501%	95.08%	743106
17	16.02%	63.25	83.17	54.25	3.99%	0.204%	0.269%	0.268%	2.095%	0.239%	0.489%	0.232%	0.144%	98.295%	94.30%	737039

ANEXO C Ficheiro Análise de Rejeições

Dia	JOB	REF	Ef. Quente	SuperScan												SuperInsp								
				Defeito no fundo			Defeito na marisa			Rej molde						Def. Visuais			Def. Dimensionais					
																nº	% máq.	%rej	nº	%	%rej			
01/01/2017	4088C002_L21_8176	4088C002	95,984%	1838	16,923%	0,241%	9023	83,077%	1,185%	7325	40,278%	0,962%	761742	18186	2,387%	9077	89,385%	1,235%	1078	10,615%	0,147%	734930	10155	1,382%
02/01/2017	4088C002_L21_8176	4088C002	98,106%	1245	22,620%	0,159%	4259	77,380%	0,543%	1521	21,651%	0,194%	784671	7025	0,895%	7311	91,536%	0,955%	676	8,464%	0,088%	765418	7987	1,043%
03/01/2017	4088C002_L21_8176	4088C002	97,375%	1204	20,003%	0,158%	4815	79,997%	0,630%	1575	20,740%	0,206%	764115	7594	0,994%	6297	89,701%	0,842%	723	10,299%	0,097%	747448	7020	0,939%
04/01/2017	4088C002_L21_8176	4088C002	94,446%	1298	16,168%	0,169%	6730	83,832%	0,878%	7084	46,877%	0,925%	766093	15112	1,973%	5280	90,800%	0,726%	535	9,200%	0,074%	726865	5815	0,800%
05/01/2017	4088C002_L21_8176	4088C002	97,786%	3099	34,966%	0,405%	5764	65,034%	0,753%	1886	17,546%	0,246%	765744	10749	1,404%	6056	91,995%	0,819%	527	8,005%	0,071%	739172	6583	0,891%

M1																																								
Total Inspec	Total Rej	% Rejeição	Rej. Molde			Tot. Defeitos		200 Estalado / Sedas Topo			202 Estalado/ Sedas Marisa			203 Cortado na Marisa			204 Cortado na Coroa			205 Estalado / Sedas Bojo			208 Estalado / Sedas Fundo			324 Bico Ligação			422EmboCADura Tapado			443 Falhado Topo / Marisa Mal Moldada			500 Malhados			M1Mar		
			nº	%	%%	nº	%	nº	%	%%	nº	%	%%	nº	%	%%	nº	%	%%	nº	%	%%	nº	%	%%	nº	%	%%	nº	%	%%	nº	%	%%	nº	%	%%			
725492	14300	1,971%	6984	48,839%	0,963%	7028	49,147%	1102	7,706%	0,152%	691	4,832%	0,095%	1269	8,874%	0,175%	0	0,000%	0,000%	448	3,133%	0,062%	0	0,000%	0,000%	737	5,154%	0,102%	28	0,196%	0,004%	181	1,266%	0,025%	2572	17,986%	0,355%	3243	22,678%	0,447%
761392	7108	0,934%	1294	18,205%	0,170%	5504	77,434%	895	12,591%	0,118%	654	9,201%	0,086%	509	7,161%	0,067%	0	0,000%	0,000%	399	5,613%	0,052%	0	0,000%	0,000%	324	4,558%	0,043%	31	0,436%	0,004%	2	0,028%	0,000%	2690	37,845%	0,353%	2060	28,981%	0,271%
750393	10925	1,456%	4492	41,117%	0,599%	5724	52,394%	1325	12,128%	0,177%	1175	10,755%	0,157%	85	0,778%	0,011%	0	0,000%	0,000%	542	4,961%	0,072%	0	0,000%	0,000%	126	1,153%	0,017%	33	0,302%	0,004%	71	0,650%	0,009%	2367	21,666%	0,315%	2656	24,311%	0,354%
739853	14811	2,002%	5072	34,245%	0,686%	9198	62,102%	1017	6,867%	0,137%	1352	9,128%	0,183%	581	3,923%	0,079%	0	0,000%	0,000%	584	3,943%	0,079%	0	0,000%	0,000%	257	1,735%	0,035%	16	0,108%	0,002%	34	0,230%	0,005%	5357	36,169%	0,724%	2984	20,147%	0,403%
744924	9696	1,302%	2243	23,133%	0,301%	7038	72,587%	922	9,509%	0,124%	1358	14,006%	0,182%	322	3,321%	0,043%	0	0,000%	0,000%	721	7,436%	0,097%	0	0,000%	0,000%	63	0,650%	0,008%	103	1,062%	0,014%	394	4,064%	0,053%	3155	32,539%	0,424%	2996	30,899%	0,402%

ANEXO D Gráficos de Rejeições

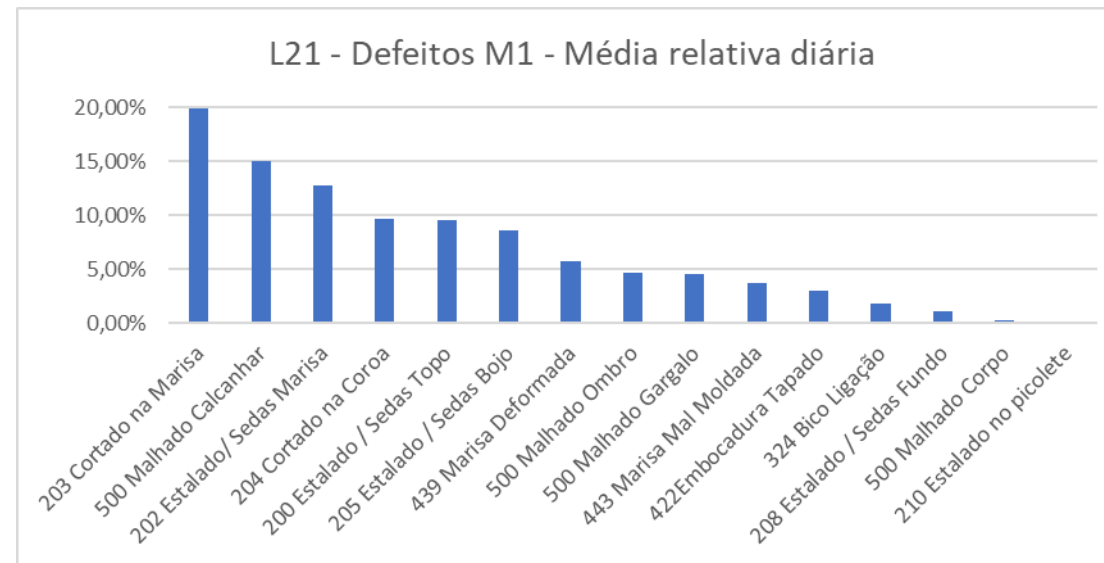


Figura D.1 - % de Motivos de rejeição das M1 na linha 21

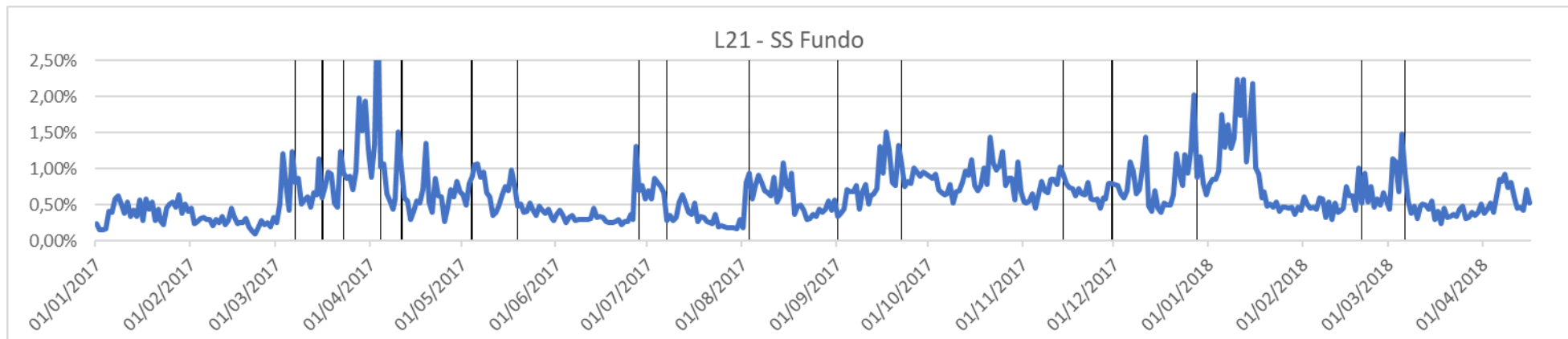


Figura D.2 - L21: Rejeição por SS fundo por dia (linhas pretas correspondem a mudanças de fabrico)

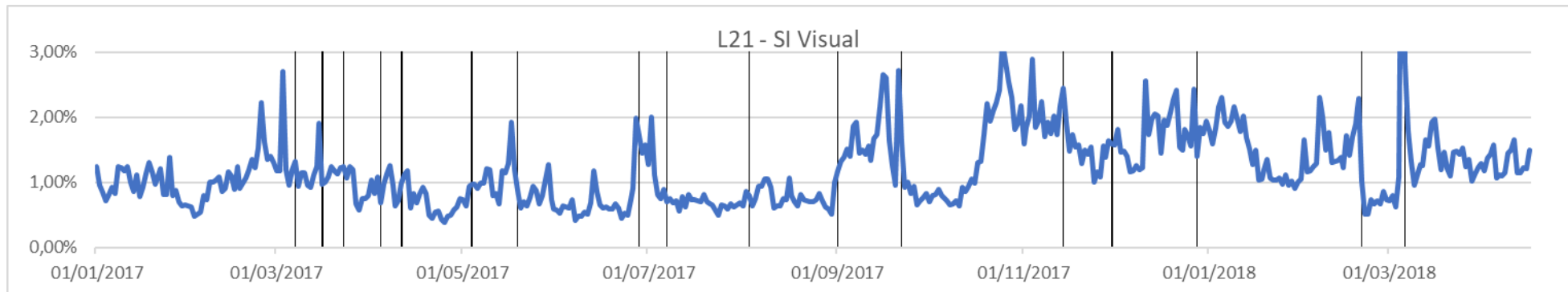


Figura D.3 - L21: Rejeição por SI Visual por dia.

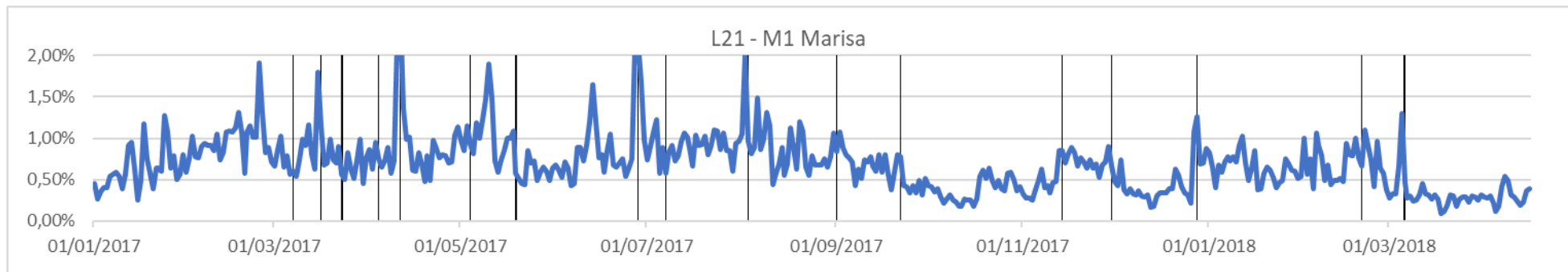


Figura D.4 - L21: Rejeição por M1 Marisa

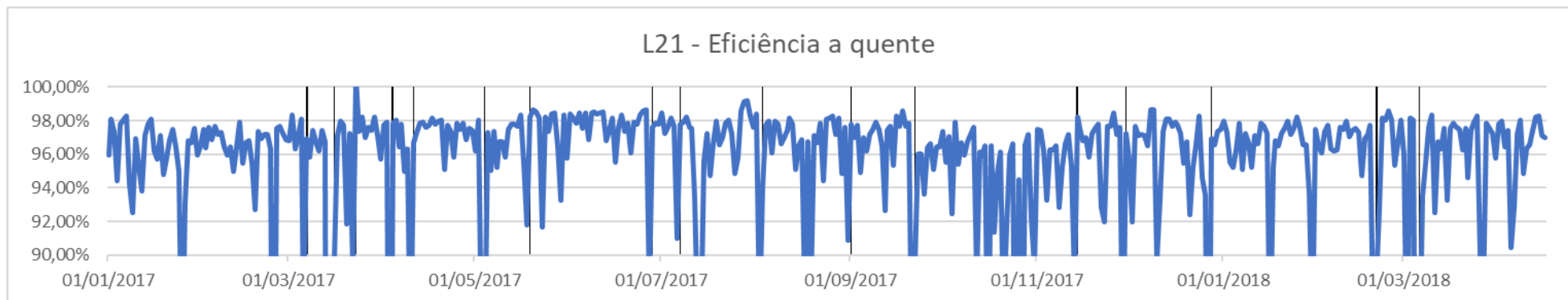


Figura D.5 - L21: Eficiência a quente

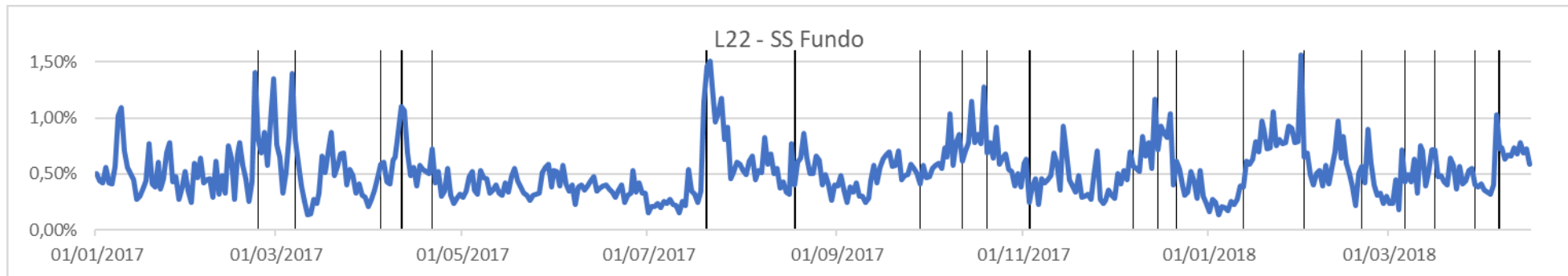


Figura D.6 - L22: Rejeição por SS Fundo

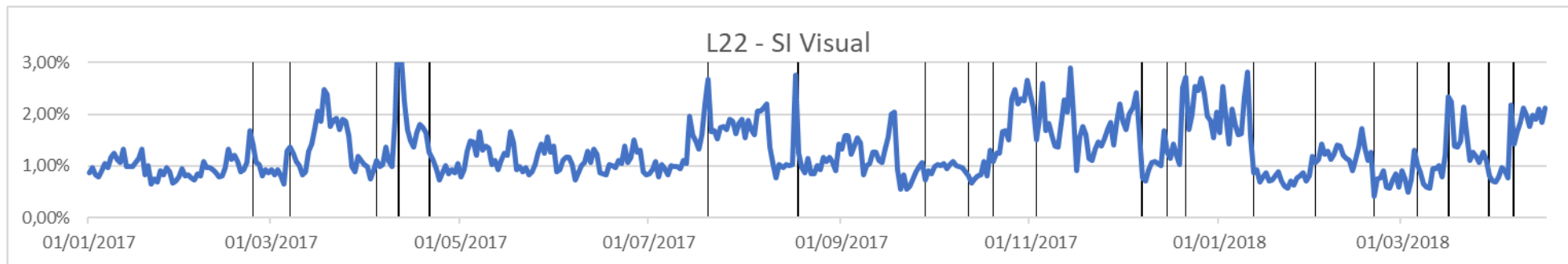


Figura D.7 - L22: Rejeição por SI Visual

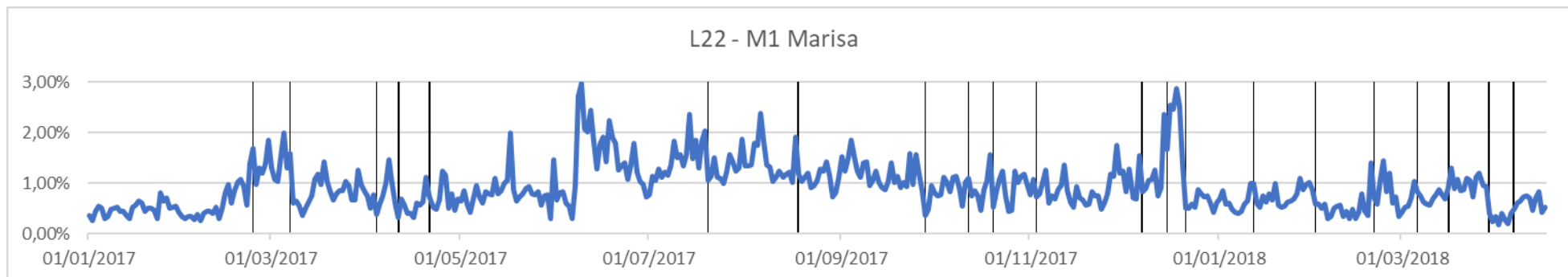


Figura D.8 - L22: Rejeição por M1 Marisa

ANEXO E Testes Estatísticos utilizados

Correlação de Spearman:

O cálculo da correlação de Spearman faz-se de acordo com a equação E.1:

$$r_s = 1 - \frac{6 \cdot \sum_{i=1}^N d_i^2}{N(N^2 - 1)} \quad (\text{E.1})$$

onde:

N = número total de observações

d_i = diferença entre os números de ordem cada par de observações

O teste de hipótese para a significância do valor do coeficiente de correlação de Spearman considera as seguintes hipóteses:

- H_0 : As variáveis não estão associadas.
- H_1 : As variáveis estão associadas; as variáveis estão diretamente associadas; as variáveis estão inversamente associadas.

Quando H_0 é verdadeira, a estatística de teste segue uma distribuição t de Student com $N-2$ graus de liberdade. A estatística de teste é dada pela equação E.2:

$$t^* = \frac{r_s}{\sqrt{(1 - r_s^2)/(N - 2)}} \quad (\text{E.2})$$

Teste de Mann-Whitney:

O teste de Mann-Whitney apresenta o seguinte teste de hipóteses:

- H_0 : As distribuições dos dois grupos são semelhantes.
- H_1 : As distribuições dos dois grupos diferem na localização.

A estatística de teste para o teste de Mann-Whitney representa-se por U e o seu cálculo é dado pela equação E.3:

$$U = N_1 N_2 + \frac{N_1(N_1 + 1)}{2} - R_1 \quad (\text{E.3})$$

onde:

N_1, N_2 = dimensão da amostra 1 e 2, respetivamente, sendo a amostra 1 a mais pequena das duas

R_1 = soma de valores ordenados da amostra 1

Quando o valor é estatisticamente significativo, conclui-se que existem diferenças significativas entre a distribuição dos dois grupos.

Teste de Kruskal-Wallis:

O teste de Kruskal-Wallis apresenta o seguinte teste de hipóteses:

- H_0 : As amostras em análise provêm de populações idênticas.
- H_1 : Pelo menos uma das amostras vem de uma população diferente das demais.

A estatística de teste H , para o teste de Kruskal-Wallis, calcula-se de acordo com a equação E.4:

$$H = \frac{12}{N(N + 1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N + 1) \quad (\text{E.4})$$

onde:

N = dimensão total de todos os grupos

n_i = dimensão da amostra i

R_i = soma de valores ordenados da amostra i

Quando H_0 é verdadeira, H segue uma distribuição qui-quadrado com $M-1$ graus de liberdade, sendo M o número total de grupos de observações.

Quando este valor é estatisticamente significativo, conclui-se que existem diferenças significativas entre os vários grupos.

ANEXO F *Outputs* Análise Geral 4088C002

Tests of Normality

	fabrico	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Prod Liq Teo	1	,170	61	,000	,903	61	,000
	2	,071	45	,200*	,982	45	,714
	3	,122	50	,059	,947	50	,025
	4	,185	38	,002	,876	38	,001
	5	,248	22	,001	,823	22	,001
	6	,157	81	,000	,930	81	,000
	7	,187	35	,003	,862	35	,000

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Figura F.1 – Prod Líq Teo - Teste de normalidade

Test of Homogeneity of Variance

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Prod Liq Teo	Based on Mean	1,995	6	325	,066
	Based on Median	1,628	6	325	,139
	Based on Median and with adjusted df	1,628	6	292,314	,139
	Based on trimmed mean	1,919	6	325	,077

Figura F.2 – Prod Líq Teo - Teste de homogeneidade de variâncias

Tests of Normality

	fabrico	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
% M1 Marisa	1	,088	61	,200*	,981	61	,445
	2	,082	45	,200*	,970	45	,288
	3	,083	50	,200*	,967	50	,168
	4	,189	38	,002	,945	38	,060
	5	,128	22	,200*	,949	22	,306
	6	,133	81	,001	,905	81	,000
	7	,133	35	,120	,956	35	,169
% SI Vis	1	,129	61	,014	,851	61	,000
	2	,200	45	,000	,886	45	,000
	3	,113	50	,131	,938	50	,011
	4	,124	38	,148	,945	38	,061
	5	,161	22	,142	,912	22	,052
	6	,121	81	,005	,942	81	,001
	7	,114	35	,200*	,951	35	,124
% SS - Fundo	1	,123	61	,022	,863	61	,000
	2	,079	45	,200*	,982	45	,697
	3	,232	50	,000	,786	50	,000
	4	,182	38	,003	,890	38	,001
	5	,137	22	,200*	,946	22	,262
	6	,092	81	,085	,974	81	,104
	7	,080	35	,200*	,976	35	,640
Ef. Quente	1	,152	61	,001	,893	61	,000
	2	,226	45	,000	,851	45	,000
	3	,164	50	,002	,894	50	,000
	4	,207	38	,000	,815	38	,000
	5	,200	22	,023	,733	22	,000
	6	,211	81	,000	,847	81	,000
	7	,246	35	,000	,839	35	,000

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Figura F.3 - Variáveis de resposta - Teste de normalidade

Test of Homogeneity of Variance

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
% M1 Marisa	Based on Mean	24,479	6	325	,000
	Based on Median	17,277	6	325	,000
	Based on Median and with adjusted df	17,277	6	130,693	,000
	Based on trimmed mean	22,464	6	325	,000
% SI Vis	Based on Mean	25,033	6	325	,000
	Based on Median	20,742	6	325	,000
	Based on Median and with adjusted df	20,742	6	249,041	,000
	Based on trimmed mean	24,039	6	325	,000
% SS - Fundo	Based on Mean	26,449	6	325	,000
	Based on Median	11,682	6	325	,000
	Based on Median and with adjusted df	11,682	6	81,837	,000
	Based on trimmed mean	21,407	6	325	,000
Ef. Quente	Based on Mean	2,064	6	325	,057
	Based on Median	1,001	6	325	,425
	Based on Median and with adjusted df	1,001	6	280,633	,425
	Based on trimmed mean	1,721	6	325	,115

Figura F.4 - Variáveis de resposta - Teste de homogeneidade de variâncias

Ranks

	fabrico	N	Mean Rank
Prod Liq Teo	1	61	142,75
	2	45	213,13
	3	50	256,32
	4	38	282,03
	5	22	44,41
	6	81	125,79
	7	35	65,14
	Total	332	
% SS - Fundo	1	61	106,05
	2	45	279,58
	3	50	234,72
	4	38	172,55
	5	22	136,09
	6	81	106,11
	7	35	181,31
	Total	332	
% SI Vis	1	61	117,39
	2	45	174,93
	3	50	232,08
	4	38	216,29
	5	22	189,36
	6	81	137,72
	7	35	145,74
	Total	332	
% M1 Marisa	1	61	180,18
	2	45	63,27
	3	50	149,06
	4	38	35,24
	5	22	193,95
	6	81	235,06
	7	35	266,89
	Total	332	
Ef. Quente	1	61	162,61
	2	45	108,09
	3	50	184,64
	4	38	193,53
	5	22	131,73
	6	81	190,49
	7	35	159,46
	Total	332	

Figura F.5 - Teste de Kruskal Wallis pt.1: valor médio de números de ordem

Test Statistics^{a,b}

	Prod Liq Teo	% SS - Fundo	% SI Vis	% M1 Marisa	Ef. Quente
Kruskal-Wallis H	202,381	147,163	60,049	207,422	29,701
df	6	6	6	6	6
Asymp. Sig.	,000	,000	,000	,000	,000

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: fabrico

Figura F.6 - Teste de Kruskal - Wallis pt.2: Estatística de teste e significância

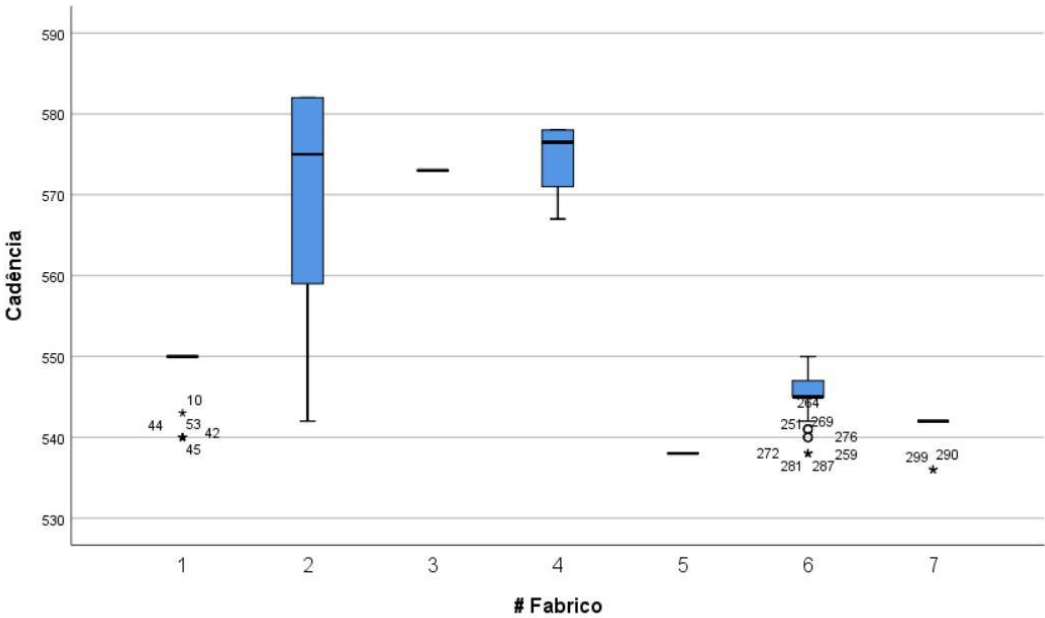


Figura F.7 - Boxplot cadência por fabrico

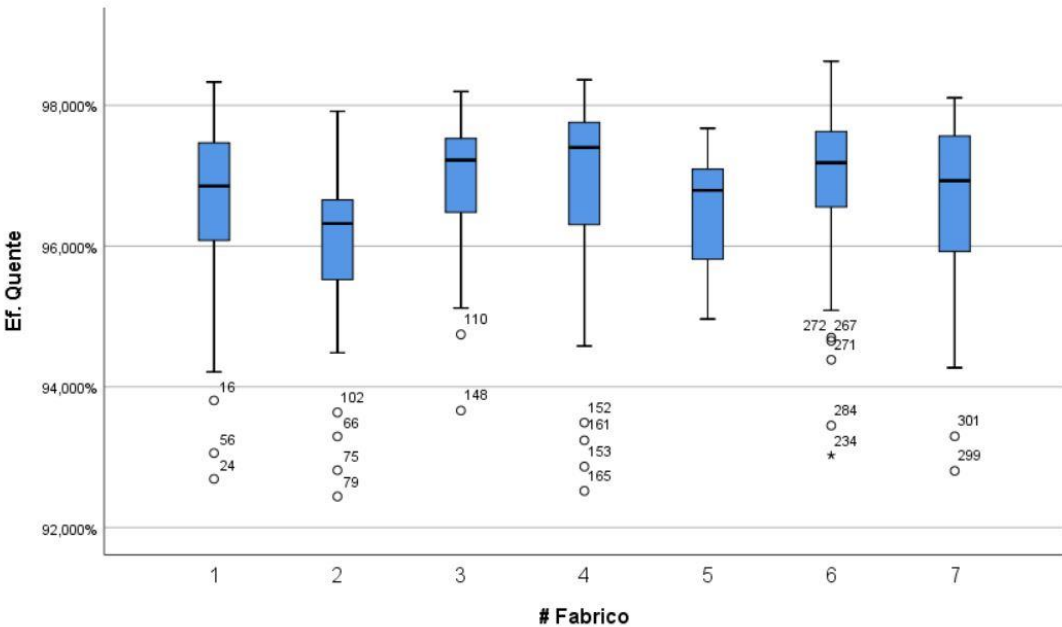


Figura F.8 - Boxplot Ef. Quente por fabrico

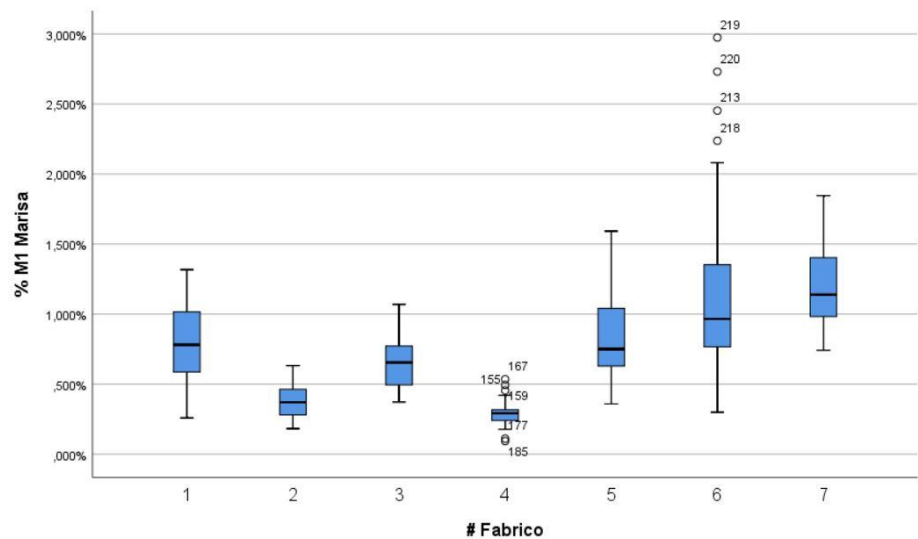


Figura F.9 - *Boxplot* M1 Marisa por fabrico

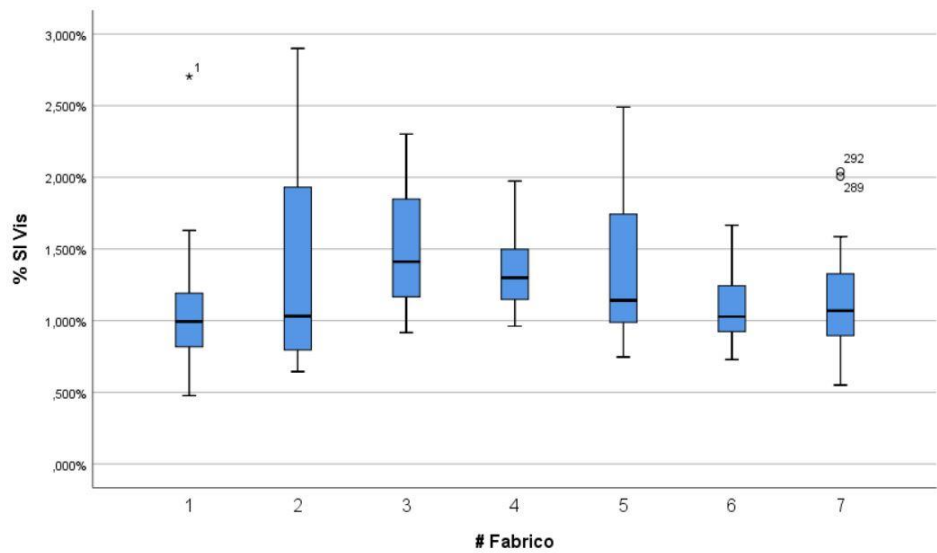


Figura F.10 - *Boxplot* SI Visual por fabrico

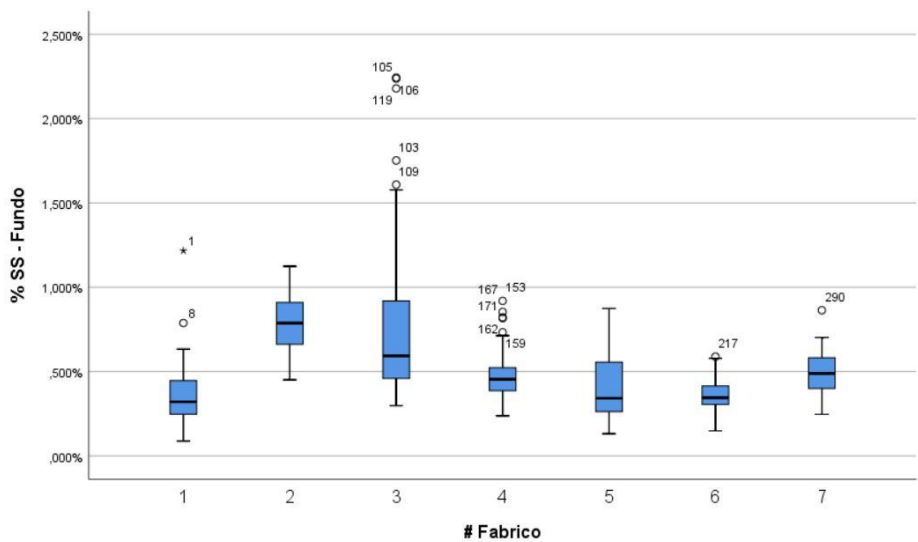


Figura F.11 - *Boxplot* SS Fundo por fabrico

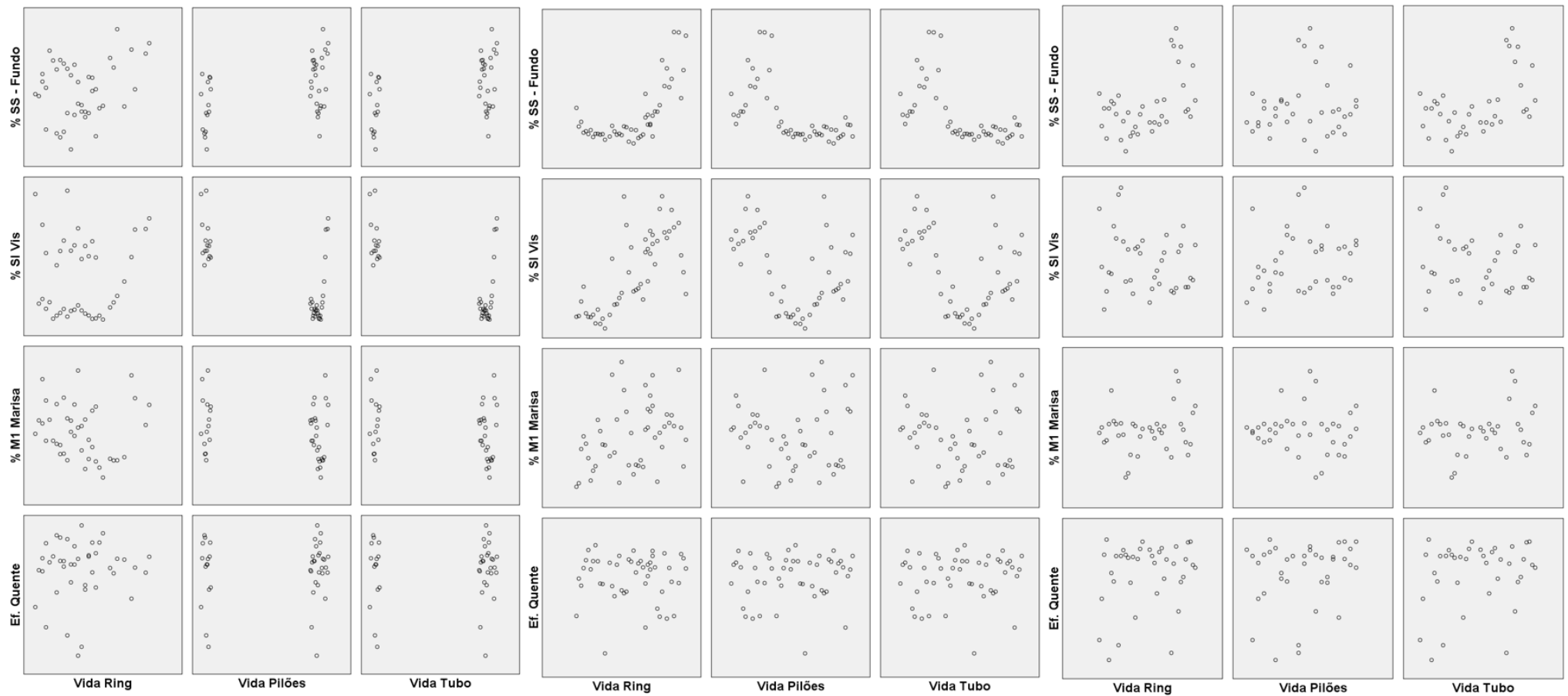
ANEXO G *Outputs* Análise 4088C002, fabricos 2/3/4

Figura G.1 - Utilização refratários vs. Rejeição (da esquerda para a direita: fabrico 2, 3 e 4)

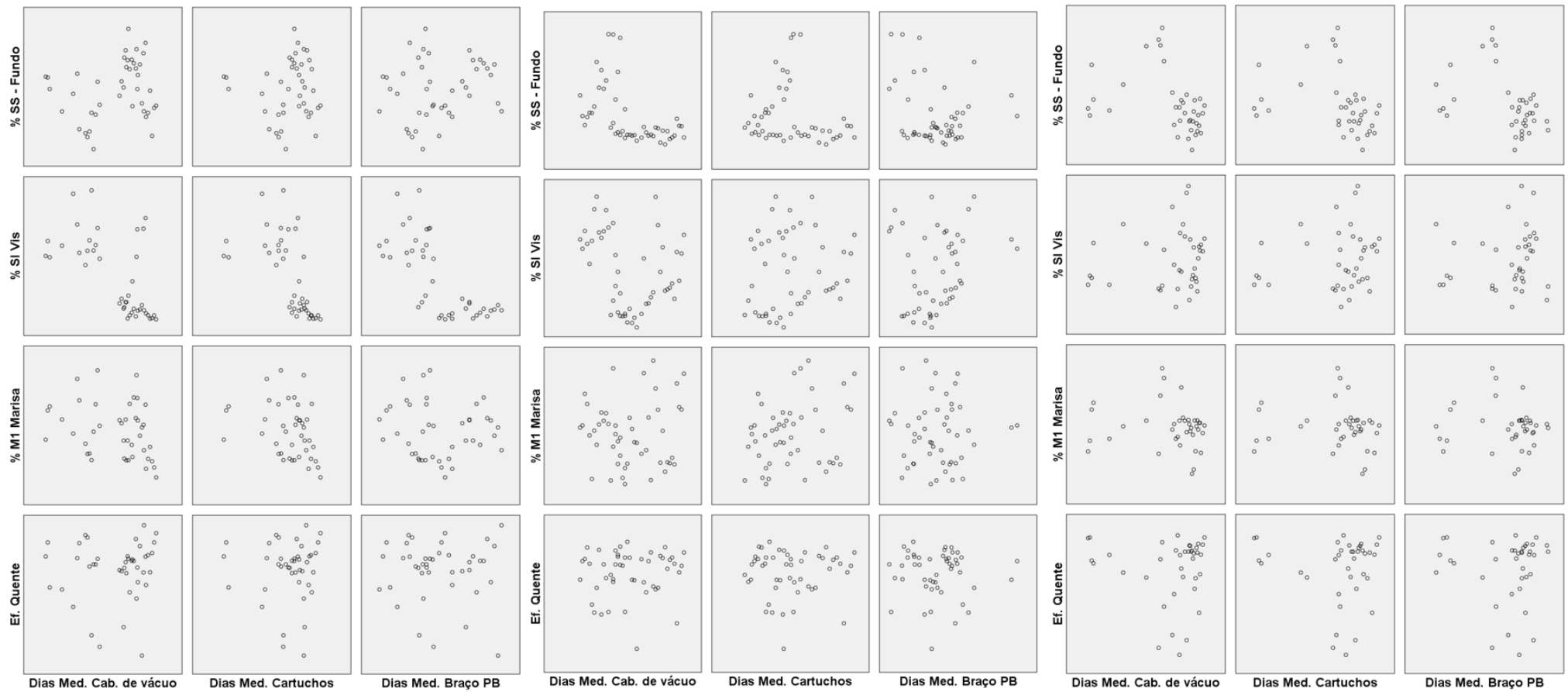


Figura G.2 - Utilização partes máq. IS vs Rejeição (da esquerda para a direita: fabrico 2, 3 e 4)

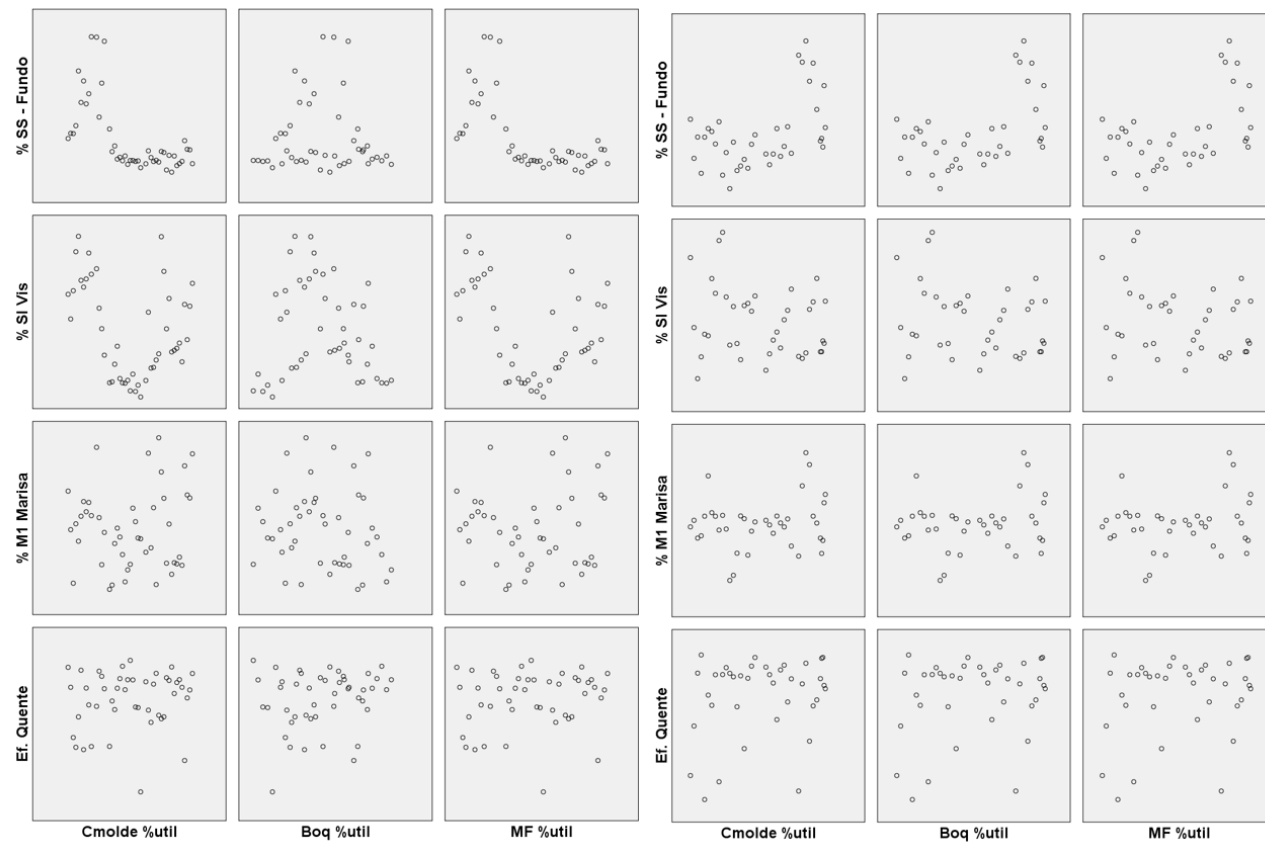


Figura G.3 - Utilização de moldes vs. Rejeição (da esquerda para a direita fabricos 3 e 4)

ANEXO H Outputs Análise 4088C002, fabricos 5/6/7

Ranks				
	fabrico	N	Mean Rank	Sum of Ranks
% SS - Fundo	5	20	51,95	1039,00
	6	79	49,51	3911,00
	Total	99		
% SI Vis	5	20	59,90	1198,00
	6	79	47,49	3752,00
	Total	99		
% M1 Marisa	5	20	36,85	737,00
	6	79	53,33	4213,00
	Total	99		
Ef. Quente	5	20	36,50	730,00
	6	79	53,42	4220,00
	Total	99		

Ranks				
	fabrico	N	Mean Rank	Sum of Ranks
% SS - Fundo	5	20	21,75	435,00
	7	33	30,18	996,00
	Total	53		
% SI Vis	5	20	30,30	606,00
	7	33	25,00	825,00
	Total	53		
% M1 Marisa	5	20	17,10	342,00
	7	33	33,00	1089,00
	Total	53		
Ef. Quente	5	20	24,85	497,00
	7	33	28,30	934,00
	Total	53		

Test Statistics ^a				
	% SS - Fundo	% SI Vis	% M1 Marisa	Ef. Quente
Mann-Whitney U	751,000	592,000	527,000	520,000
Wilcoxon W	3911,000	3752,000	737,000	730,000
Z	-,340	-1,726	-2,292	-2,353
Asymp. Sig. (2-tailed)	,734	,084	,022	,019
Exact Sig. (2-tailed)	,739	,085	,021	,018
Exact Sig. (1-tailed)	,370	,043	,011	,009
Point Probability	,003	,001	,000	,000

a. Grouping Variable: fabrico

Test Statistics ^a				
	% SS - Fundo	% SI Vis	% M1 Marisa	Ef. Quente
Mann-Whitney U	225,000	264,000	132,000	287,000
Wilcoxon W	435,000	825,000	342,000	497,000
Z	-1,927	-1,211	-3,633	-,789
Asymp. Sig. (2-tailed)	,054	,226	,000	,430
Exact Sig. (2-tailed)	,055	,232	,000	,439
Exact Sig. (1-tailed)	,027	,116	,000	,219
Point Probability	,001	,004	,000	,005

a. Grouping Variable: fabrico

Figura H.1 - Resultados do teste de Mann Whitney para diferenças nas variáveis de resposta (fabrico 5-6 e 5-7)

Ranks				
	fabrico	N	Mean Rank	Sum of Ranks
% SS - Fundo	6	79	47,78	3775,00
	7	33	77,36	2553,00
	Total	112		
% SI Vis	6	79	55,70	4400,00
	7	33	58,42	1928,00
	Total	112		
% M1 Marisa	6	79	52,75	4167,00
	7	33	65,48	2161,00
	Total	112		
Ef. Quente	6	79	59,43	4695,00
	7	33	49,48	1633,00
	Total	112		

Test Statistics ^a				
	% SS - Fundo	% SI Vis	% M1 Marisa	Ef. Quente
Mann-Whitney U	615,000	1240,000	1007,000	1072,000
Wilcoxon W	3775,000	4400,000	4167,000	1633,000
Z	-4,394	-,405	-1,892	-1,478
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000	,685	,058	,140
Exact Sig. (2-tailed)	,000	,689	,059	,141
Exact Sig. (1-tailed)	,000	,345	,029	,070
Point Probability	,000	,002	,000	,001

a. Grouping Variable: fabrico

Figura H.2 - Resultados do teste de Mann Whitney para diferenças nas variáveis de resposta (fabricos 6-7)

ANEXO I Modelo MLP para Produção Líquida Teórica

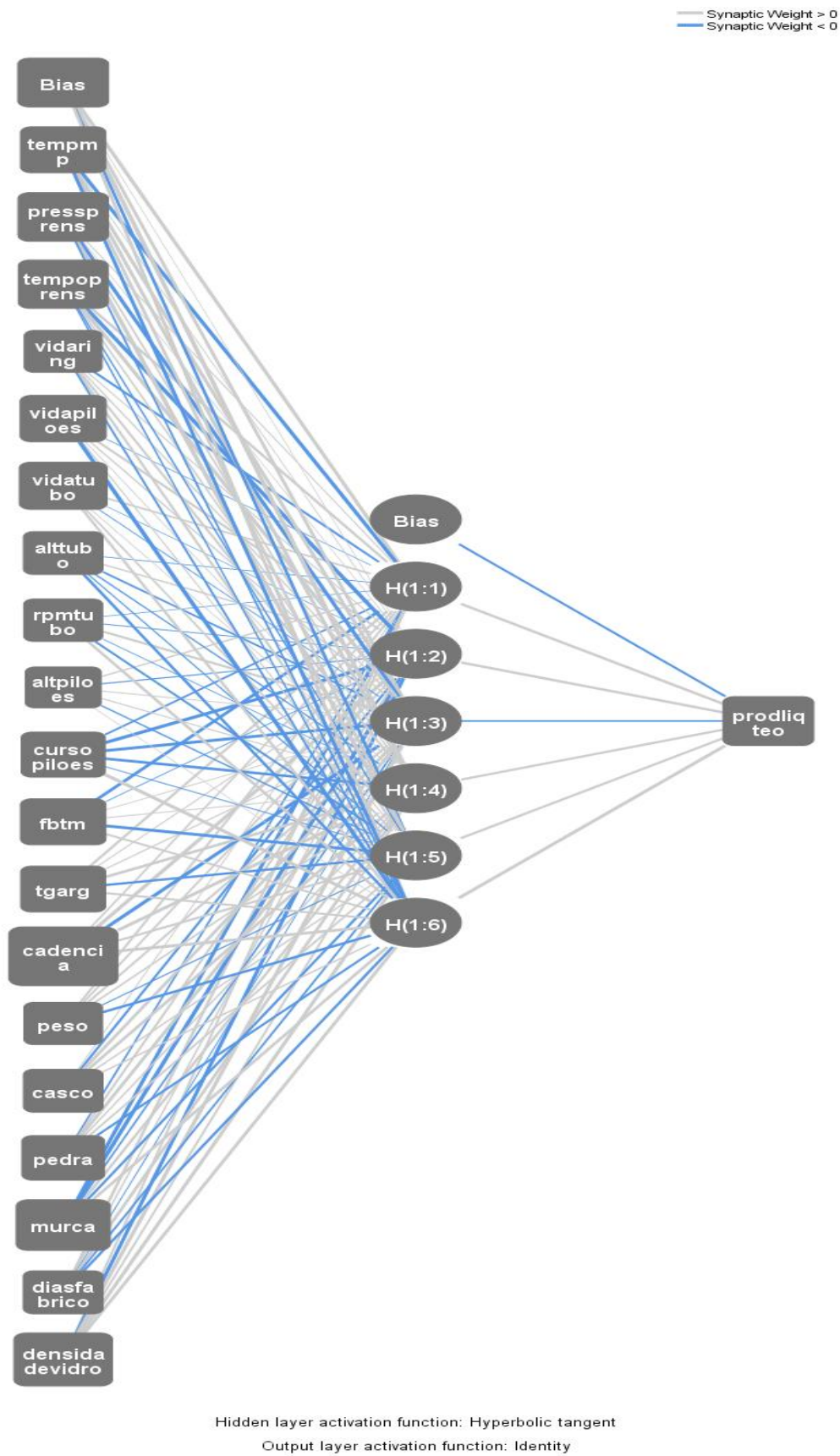


Figura I.1 - Modelo MLP para previsão da Produção líquida teórica

ANEXO J MLP - Influência das variáveis de entrada no *output*

Resultados gerados automaticamente pelo SPSS de MLPs para cada uma das variáveis resposta.

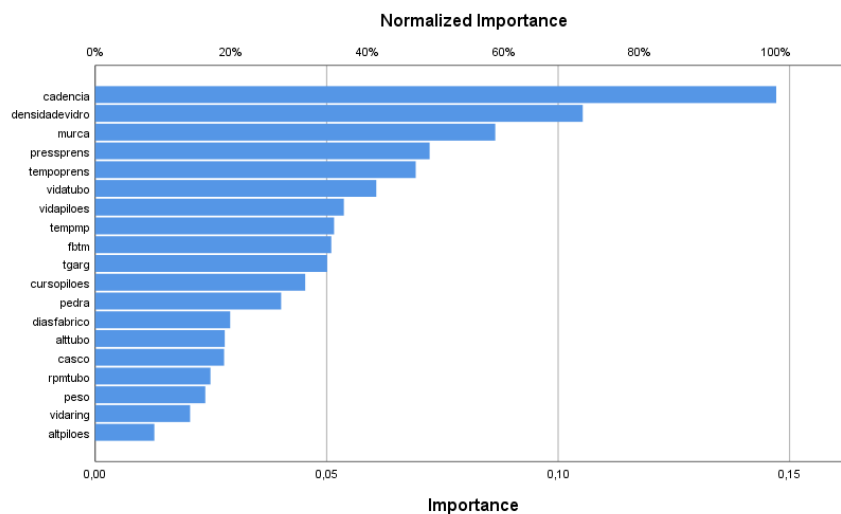


Figura J.1 - Importância de variáveis na Produção Líquida Teórica

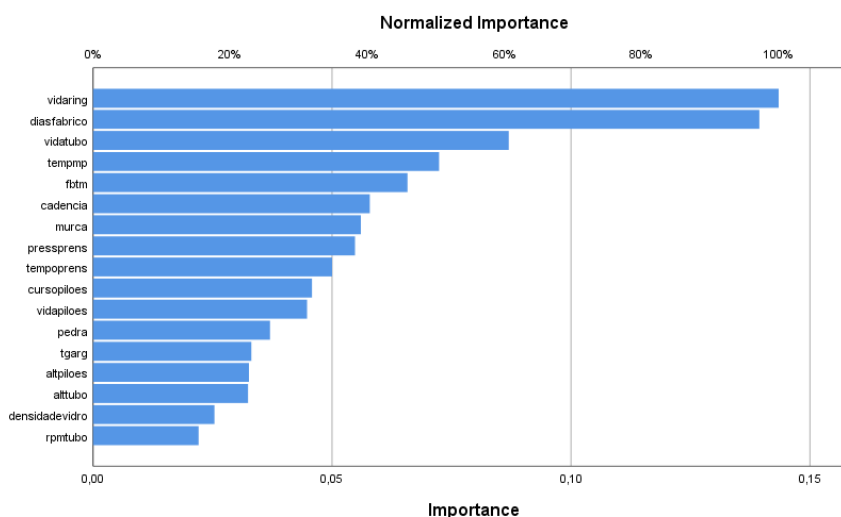


Figura J.2 - Importância de variáveis na rejeição por SS Fundo

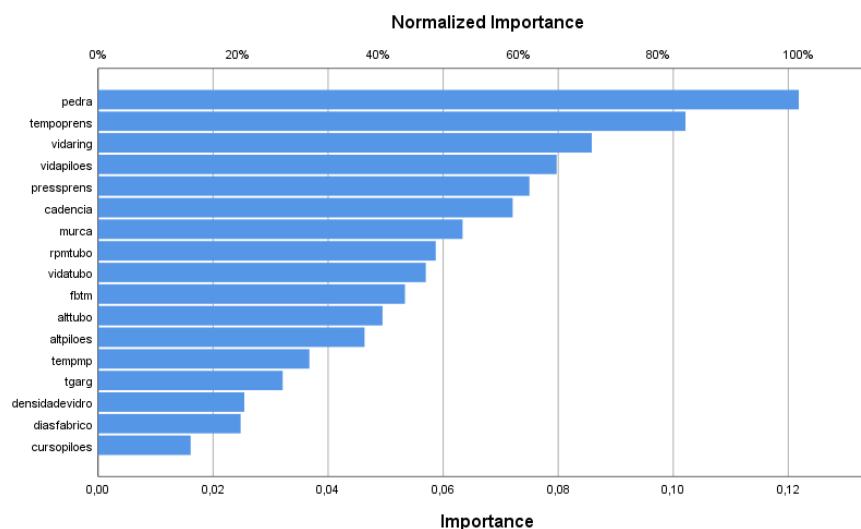


Figura J.3 - Importância de variáveis na rejeição por SI Visual

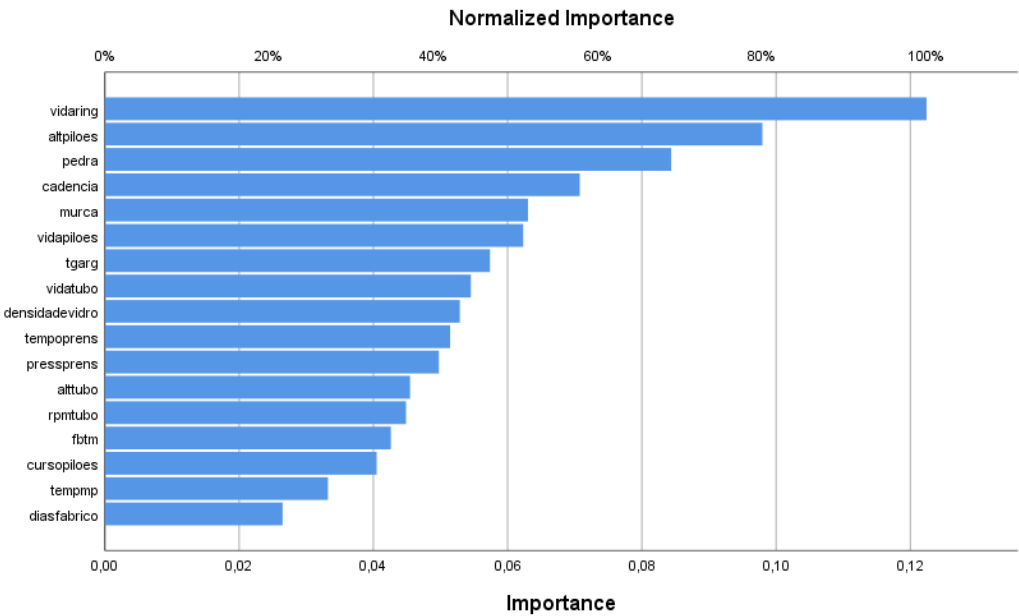


Figura J.4 - Importância das Variáveis na rejeição por M1 Marisa

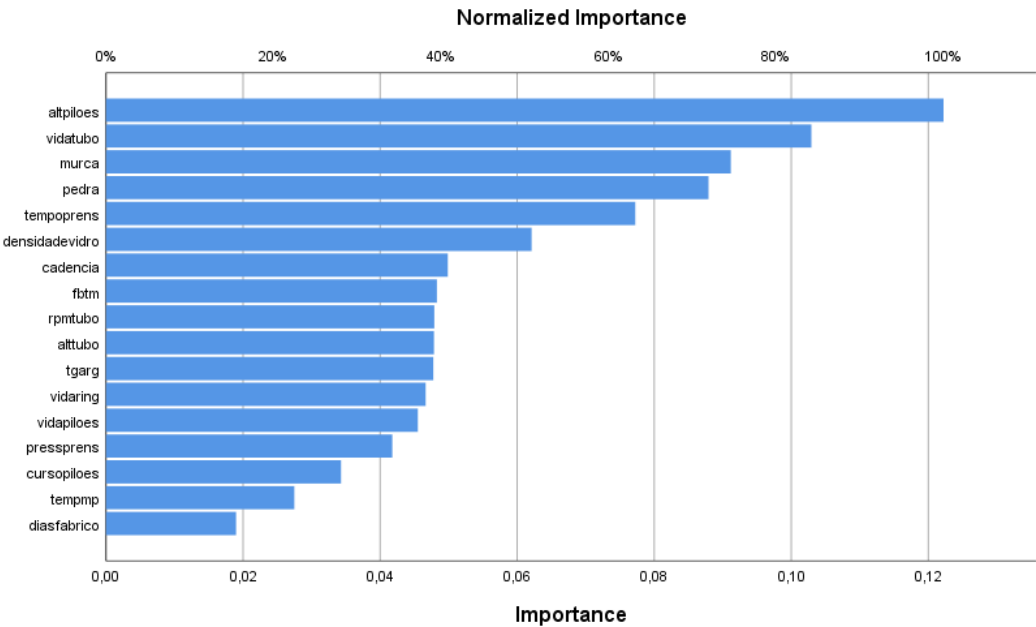


Figura J.5 - Importância de variáveis na Eficiência a Quente

ANEXO K Análise Cor vs. Rejeição

Variável	Fabrico	Nº casos	Média	Mediana	Des. Pad	Mínimo	Máximo
T550/G	1	286	31,51	31,75	2,33	23,10	36,68
	2	71	14,21	13,95	3,92	6,95	21,90
	3	240	28,29	28,45	1,72	23,75	33,55
SI Visual	1	286	1,471%	1,350%	0,471%	0,685%	2,982%
	2	71	0,706%	0,640%	0,220%	0,395%	1,594%
	3	240	1,366%	1,285%	0,366%	0,670%	2,715%
Seda no topo	1	286	0,063%	0,031%	0,073%	0,001%	0,349%
	2	71	0,212%	0,196%	0,112%	0,019%	0,566%
	3	240	0,019%	0,012%	0,020%	0,001%	0,113%
Seda marisa	1	286	0,130%	0,112%	0,082%	0,012%	0,433%
	2	71	0,138%	0,109%	0,140%	0,004%	0,561%
	3	240	0,069%	0,047%	0,066%	0,001%	0,338%
Cortado coroa	1	286	0,175%	0,152%	0,114%	0,012%	0,650%
	2	71	0,214%	0,199%	0,104%	0,034%	0,572%
	3	240	0,043%	0,029%	0,043%	0,001%	0,227%

Figura K.1 - Estatísticas descritivas gerais L21 (Análise cor vs. rejeição)

Variável	Fabrico	Nº casos	Média	Mediana	Des. Pad	Mínimo	Máximo
T550/G	1	56	31,98	31,65	1,59	29,05	34,65
	2	112	32,00	31,84	1,39	29,28	34,90
	3	100	30,37	30,89	3,02	23,10	34,65
	4	71	14,13	14,05	3,97	6,95	21,90
	5	53	29,08	29,00	1,83	25,95	33,55
	6	55	28,93	28,75	1,06	27,08	30,60
	7	119	27,67	27,75	1,76	23,75	30,80
SI Visual	1	56	1,881%	1,796%	0,465%	0,970%	2,964%
	2	112	0,762%	0,742%	0,139%	0,467%	1,169%
	3	100	1,201%	1,184%	0,270%	0,616%	1,767%
	4	71	0,700%	0,629%	0,258%	0,343%	1,527%
	5	53	0,838%	0,764%	0,300%	0,381%	1,621%
	6	55	1,536%	1,406%	0,452%	1,014%	2,876%
	7	119	1,421%	1,442%	0,572%	0,564%	2,694%
Seda no topo	1	56	0,226%	0,214%	0,088%	0,076%	0,440%
	2	112	0,280%	0,269%	0,100%	0,090%	0,625%
	3	100	0,126%	0,107%	0,073%	0,038%	0,378%
	4	71	0,458%	0,391%	0,314%	0,085%	1,638%
	5	53	0,178%	0,149%	0,096%	0,044%	0,493%
	6	55	0,552%	0,470%	0,233%	0,141%	1,103%
	7	119	0,191%	0,170%	0,111%	0,031%	0,545%
Seda marisa	1	56	0,239%	0,226%	0,103%	0,081%	0,521%
	2	112	0,344%	0,305%	0,159%	0,106%	0,840%
	3	100	0,243%	0,225%	0,115%	0,072%	0,604%
	4	71	0,090%	0,072%	0,078%	0,008%	0,417%
	5	53	0,147%	0,133%	0,100%	0,008%	0,422%
	6	55	0,137%	0,131%	0,053%	0,061%	0,328%
	7	119	0,168%	0,142%	0,106%	0,041%	0,537%
Cortado coroa	1	56	0,095%	0,068%	0,082%	0,015%	0,415%
	2	112	0,144%	0,131%	0,062%	0,042%	0,347%
	3	100	0,055%	0,047%	0,032%	0,010%	0,159%
	4	71	0,215%	0,189%	0,132%	0,048%	0,585%
	5	53	0,272%	0,237%	0,160%	0,031%	0,764%
	6	55	0,308%	0,299%	0,118%	0,119%	0,590%
	7	119	0,115%	0,101%	0,083%	0,015%	0,449%

Figura K.2 - Estatísticas descritivas L22 (Análise cor vs. rejeição)

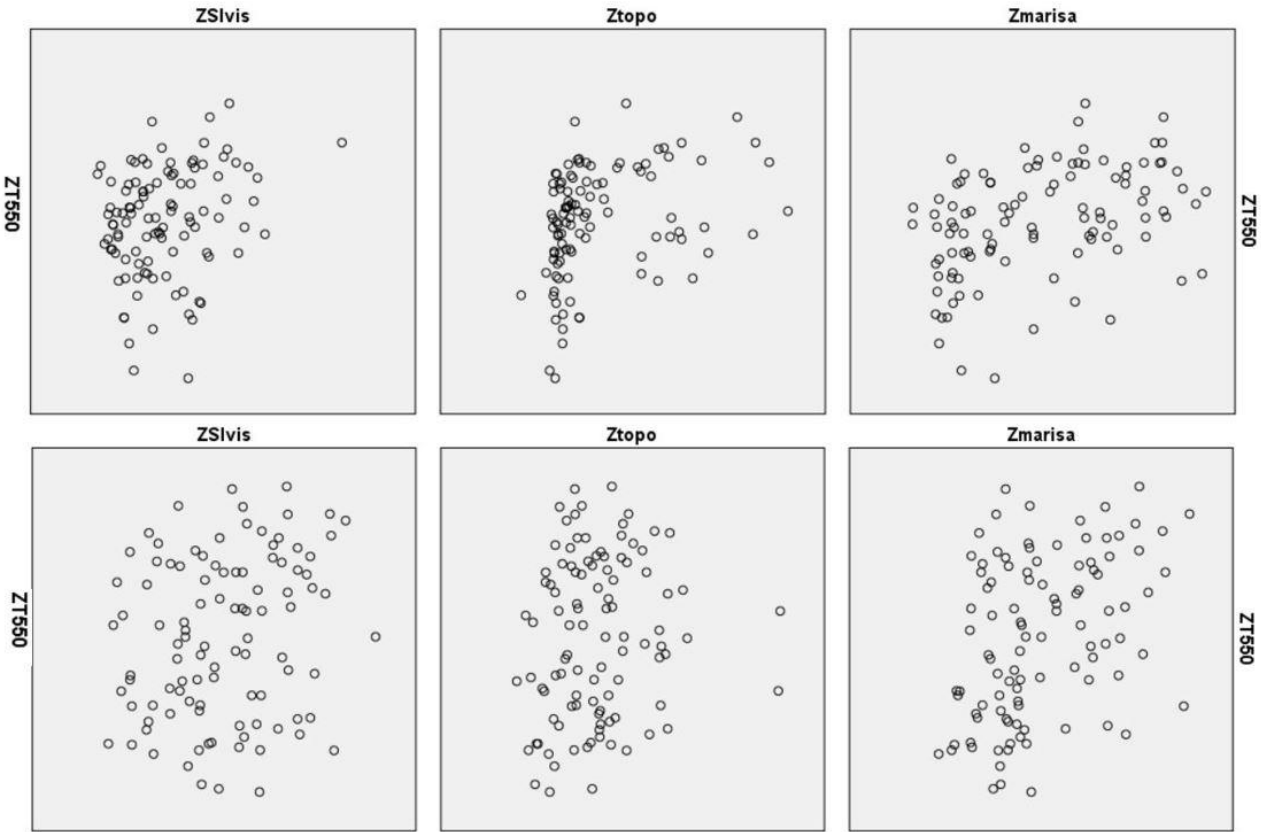


Figura K.3 - Gráfico de dispersão cor vs rejeição com dados diários (L21 em cima, L22 em baixo)